

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.com

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

КЛАССИКИ НАУКИ



АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН

СОБРАНИЕ
НАУЧНЫХ ТРУДОВ

В ЧЕТЫРЕХ ТОМАХ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
И. Е. ТАММА,
Я. А. СМОРОДИНСКОГО,
Б. Г. КУЗНЕЦОВА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1967

АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН

СОБРАНИЕ
НАУЧНЫХ ТРУДОВ

IV
СТАТЬИ, РЕЦЕНЗИИ, ПИСЬМА
•
ЭВОЛЮЦИЯ ФИЗИКИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1967

СЕРИЯ «КЛАССИКИ НАУКИ»

Серия основана академиком *С. И. Вавиловым*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ.

**академик *И. Г. Петровский* (председатель), академик *А. А. Имшенецкий*,
академик *Б. А. Казанский*, академик *Б. М. Кедров*,
член-корреспондент АН СССР *Б. Н. Делоне*, профессор *И. В. Кузнецов*
(зам. председателя), профессор *Ф. А. Петровский*, профессор *Л. С. Полак*,
профессор *Н. А. Фигуровский*, профессор *И. И. Шафрановский***



ОТ РЕДАКЦИИ

Собрание научных трудов Альберта Эйнштейна завершается четвертым томом.

Работы Эйнштейна отличаются от работ многих других физиков нашего времени тем, что он аккуратно фиксировал в них все этапы своего труда, завершившегося рождением новой физики. Каждая из статей, каждое выступление добавляло новые элементы к создающейся картине физических явлений. Собранные воедино, они, подобно кусочкам мозаики, образуют увлекательную историю физики в ее наиболее бурные годы. Именно их логическая последовательность и цельность исследований заставили выбрать такой вариант издания, в котором были выделены два направления — теория пространства и времени (тома I и II) и теория атомных и статистических явлений (том III). Оба эти направления развивались не независимо, их идеи и работа над ними всегда перекрывались; однако логика исследований проявляет себя ярче, если статьи этих двух направлений читать, не перемешивая. Интересно отметить, что в японском издании 1922 года, о котором мы узнали лишь недавно, был принят такой же план (см. статью 17 и примечания к ней).

Кроме работ, включенных в первые три тома, оставалось еще очень много статей, посвященных более общим вопросам. В этих статьях развивались взгляды Эйнштейна на проблемы творчества, на задачи науки; в них, кроме того, содержатся многочисленные выступления за гуманизм, против войны и фашизма.

При включении такого рода статей в собрание научных трудов очень трудно было решить, где провести границу. Казалось безусловным, что для понимания творчества Эйнштейна очень важно понимать его гносеологические воззрения, его уверенность в способности человека познать окружающий реальный мир. Поэтому работы, собранные в IV томе, составляют органическое дополнение к его основным работам, вошедшим в три предыдущих тома. В конце тома мы поместили популярную книгу «Эволюция физики», написанную Эйнштейном вместе с Л. Инфельдом.

Эта книга хорошо известна советскому читателю — русский перевод ее выдержал уже четыре издания, но без нее Собрание было бы неполным.

За рамками настоящего Собрания остаются политические статьи Эйнштейна. Собрать их и издать — дело чрезвычайно трудное, и оно должно быть осуществлено отдельно. Здесь мы ограничимся лишь указанием на то, что часть выступлений представлена в двух сборниках. Первый из них — немецкий: «Моя картина мира» («Mein Weltbild», 2. Aufl. Frankfurt-am-Main, 1955)¹. Второй — английский: «В мои последние годы» («Out of My Later Years». N. Y., 1950). Из этих двух сборников был составлен смешанный сборник «Идеи и мнения» («Ideas and Opinion». N. Y., 1954)².

Большое число писем и документов собрано в книге «Эйнштейн о мире» («Einstein on Peace». N. Y., 1960). Риска быть непоследовательными, мы все же включили несколько документов, не имеющих чисто научного характера. К ним относятся, например, письма в Прусскую и Баварскую Академии (статья 56).

Остается, однако, еще очень много несобранных и неизданных писем. В разных архивах хранится переписка Эйнштейна с Бором, Эренфестом, Паули, Луи де Бройлем. Сохранились его письма к советским физикам и много других. Все это еще ждет своего исследователя. Здесь опубликована только переписка Эйнштейна с другом его юности Соловином. Хотя она касается лишь узкого круга вопросов, мы все-таки включили ее в качестве приложения.

Мы не включили в настоящий том биографию Эйнштейна, поскольку на русском языке она публиковалась неоднократно³. Мы даем для справок краткий список основных дат жизни ученого.

Несколько слов об иллюстрациях. Большая их часть взята из альбома, составленного Каном (W. S a h n. Einstein. A pictorial biography. N. Y., 1960). Снимок, помещенный в начале II тома, сделан с портрета неизвест-

¹ Есть английский перевод: «The World, as I see it». N. Y., 1934; французский: «Comment je vois le monde». Paris, 1958 и итальянский: «Como il vede il mondo». Milano, 1955.

² Отметим еще французский вариант сборника: «Conceptions scientifiques, morales et sociales». Paris, 1952. К сборникам работ, уже отмеченным ранее, следует добавить еще итальянский сборник, посвященный 50-летию теории относительности: «Cinquant' anni di relativista. 1905—1955. Le memorie fondamentali di Albert Einstein e il valore della teoria relativistica sotto l'aspetto fisico, matematico, astronomico e filosofico». Firenze, 1955. В этот сборник вошли следующие статьи, помещенные в I и II томах нашего собрания: 1, 2, 38, 42, 44, 134, 141.

³ См., например, книги на русском языке: К. З е л и г. Альберт Эйнштейн. М., 1966, 2-е изд.; Ф. Гер не к. Альберт Эйнштейн. М., 1966; Б. Г. Ку з не ц о в. Эйнштейн. М., изд-во «Наука», 3-е изд., 1966; и на немецком: Ph. Frank. Einstein. München, Leipzig, Freiburg, 1949.

ного художника во время пребывания Эйнштейна в Праге. Он предоставлен нам П. Винтернитцем, в семье которого хранится оригинал (Эйнштейн был знаком с философом И. Винтернитцем и написал рецензию на его книгу; см. статью 21). Четыре фотографии, не публиковавшиеся ранее, были присланы нам П. Йеггли из библиотеки Федерального политехнического института в Цюрихе. Среди них — последний снимок, сделанный за месяц до смерти ученого. Одну фотографию обнаружила и передала нам Н. С. Михоэлс.

Мы приносим всем им свою глубокую благодарность. Мы благодарны также Элен Дюкас (США) и А. Гюнтеру (ЦЕРН) за сведения о мало известных статьях и изданиях.

Перевод статей для IV тома был выполнен Ю. А. Даниловым, С. Г. Суворовым и А. М. Френком. Перевод автобиографии (статья 76), сделанный А. Н. Лермантовой и В. А. Фоком, и перевод «Эволюции физики», принадлежащий С. Г. Суворову, перепечатан из прежних изданий (см. примечания к этим статьям). Некоторые статьи из этого тома были вначале опубликованы в сборнике «Физика и реальность». Эти переводы были просмотрены и дополнены, а отдельные статьи были переведены заново. Переводы статьи «Причины образования извилин в руслах рек и так называемый закон Бэра» (статья 24) и статьи «Автобиографические наброски» (статья 88) перепечатаны из журнала «Успехи физических наук».

Примечания к статьям во всех томах русского издания сделаны Я. А. Смородинским.

МАКС ПЛАНК КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬ *

Бразды правления ректоратом Берлинского университета на 1913—1914 учебный год вручены физику-теоретику Максус Планку. Все мы, его коллеги по работе, как близкие, так и далекие, хотим воспользоваться этим случаем, чтобы порадоваться тем достижениям, которыми обязана ему наука.

Первой самостоятельной работой Макса Планка была его диссертация «О втором основном законе механической теории тепла», которую он в 1879 г. в возрасте 21 года представил Мюнхенскому университету. Характерно, что Планк начал свою деятельность в качестве публициста с обсуждения весьма общей темы, перейдя в последующие годы к разработке частных вопросов, непосредственно вытекающих из первого исследования. Это характерно для всей манеры работы Планка, а возможно, вообще для метода, используемого чистыми теоретиками. Они всегда исходят из некоторого наиболее общего положения, выводят из него отдельные частные результаты и затем сравнивают их с опытом.

Первым крупным научным достижением Планка является третья из серии статей, названных «О принципе возрастания энтропии» (*Ann. Phys.*, Bd. 32, 1887, 462). В этой статье рассматривается общая теория химического равновесия, особенно в ее применении к разбавленным растворам. Правда, общие результаты исследования этого вопроса были получены более чем за десять лет до этого Гиббсом, а по отношению к разбавленным растворам — частично Вант-Гоффом. Но работы Гиббса были малоизвестными и труднодоступными. Достижением можно считать уже сам факт признания их ценности: я думаю даже, что Планк не дошел бы до понимания работ Гиббса, не пройди он самостоятельно подобный же путь. Большая ценность указанной работы Планка заключается в том, что он установил для равновесия разбавленных растворов несколько формул такой общности, что

* *Max Planck als Forscher*. Naturwiss., 1913, 1, 1077—1079. (Перевод опубликован в сб.: А. Эйнштейн. Физика и реальность. М., 1965.— *Ред.*)

в них заключаются все выводимые термодинамически закономерности этих растворов. На основании своих общих формул Планк первым, еще до Аррениуса, пришел к выводу, что в водных растворах с «аномально» повышенным давлением паров (соответственно пониженной точкой замедзания или повышенной точкой кипения) растворенное вещество должно быть диссоциировано. Так называемый оствальдовский закон разбавления для бинарных электролитов содержится в общих формулах Планка как весьма частный случай.

О рассмотренных в указанной работе Планка частных термодинамических вопросах мы здесь не будем говорить. Зато мы не должны пропустить появившуюся в 1896 г. в *Ann. Phys.*, Bd. 56 полемическую работу «Против новой энергетики», ибо она несомненно оказала на работающих в этой области значительное влияние. Она представляет собой мастерски написанную краткую заметку, в которой показано, что энергетика как эвристический метод ничего не стоит и даже что она оперирует несостоятельными понятиями. Для каждого сторонника подлинно научного мышления чтение этой остро-полемической заметки является вознаграждением за досаду, испытанную им при чтении тех работ, против которых в ней ведется борьба.

В 1896 г. Планк занялся теорией излучения. Общеизвестно, что его работы в этой области оказали огромное влияние на последующее развитие физики. Без этих работ были бы невозможны большие успехи, достигнутые за последние годы учением о теплоте. Из этих работ вырос тот обширный комплекс результатов, теоретических представлений и вновь возникающих проблем, который всплывает перед физиком при упоминании слова «кванты», одновременно оживляя и затрудняя его существование. Чтобы оценить достижения Планка в этой области, нужно хотя бы бегло рассмотреть развитие теории излучения.

Каждое тело излучает тепло. Вследствие этого любая имеющаяся в непрозрачном теле полость всегда заполнена тепловым излучением. В шестидесятых годах прошлого столетия Кирхгоф установил из простых термодинамических соображений, что это излучение должно быть одинаковым по всем направлениям, а его свойства зависят только от температуры тел, окружающих полость. Обозначим через

$$u dv$$

энергию излучения для интервала частот dv в единице объема. Тогда u (плотность монохроматического излучения) зависит только от абсолютной температуры T и частоты ν и совершенно не зависит от физической и химической природы стенок полости; $u(\nu, T)$ является, как принято выражаться, универсальной функцией двух переменных ν и T ; ее определение составляет одну из важнейших экспериментальных и теоретических

задач теории излучения. В рамках чистой термодинамики об этой функции ничего нельзя узнать.

Следующий шаг в теории был сделан в 1884 г. Больцманом, показавшим, что для суммарной плотности излучения закон

$$\int_0^{\infty} u dv = \sigma T^4$$

может быть выведен термодинамически, если принять за основу полученный Максвеллом из теории электромагнетизма закон о давлении излучения. Согласно этому закону, отраженное, поглощенное и выделенное поверхностью излучение оказывает на эту поверхность определенное давление. Закон Больцмана позволяет найти плотность суммарного излучения, но он ничего не говорит о спектральном распределении излучения. В 1893 г. появилась важная работа В. Вина, в которой убедительно доказано, что излучение полости при определенной температуре T_1 может быть переведено в излучение другой температуры T_2 путем адиабатического сжатия или, соответственно, расширения области с зеркальными стенками, в которой заключено излучение. Отсюда Вин смог бы определить теоретически функцию u для всех температур, если бы ее зависимость от частоты ν была бы определена хотя бы для одной температуры. Неизвестная функция двух переменных свелась, таким образом, к неизвестной функции одной единственной переменной. Полученный Вином результат (закон смещения) выражается формулой

$$u = \nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right),$$

где f — неизвестная универсальная функция одной переменной. Если можно было бы положить на весы все мозговое вещество, которое физики пожертвовали на алтарь этой универсальной функции, то получилась бы величественная картина, и этим жестоким жертвоприношениям не видно было конца! Больше того: жертвой ее пала классическая механика, причем нельзя предвидеть, сумеют ли максвелловские уравнения электродинамики пережить кризис, вызванный этой функцией f .

Единственным исследователем, которому усилия в теоретическом определении и понимании функции f принесли успех, был Планк. Он исследовал нерегулярные колебания электрического резонатора с собственной частотой ν_0 в поле излучения, пользуясь законами механики и максвелловской электродинамики. При этом он нашел простое соотношение между средней энергией U колебания резонаторов и монохроматической плотностью излучения, соответствующей частоте ν_0 . Задача излучения была бы, таким образом, решена, если бы удалось выразить энергию U резонаторов

или, вернее, системы очень большого числа резонаторов как функцию температуры. Метод, которым Планк в своей прокладывающей новые пути работе 1901 г. наконец решил эту задачу, столь же рискован, сколь и гениален. Он исходил из установленной Больцманом в теории газов теоремы, согласно которой энтропия S состояния равна умноженному на k логарифму вероятности W этого состояния. Если удалось бы вычислить вероятность, соответствующую определенной энергии монохроматических резонаторов, то можно было бы вычислить энтропию S системы, а отсюда и ее температуру. Этот расчет, который вследствие недостаточности строгого определения W нельзя было провести без известного произвола, привел к формуле излучения

$$u = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}.$$

Эта формула до сих пор строго подтверждается опытом, дающим численные значения констант h и k . Громадный триумф этой работы состоит в следующем. Константа k заимствована из известного принципа Больцмана, где она определяется отношением

$$k = \frac{R}{N} = \frac{\text{Универсальная газовая постоянная}}{\text{Число молекул в грамм-молекуле}}.$$

Полученная из измерений над излучением величина k дает, следовательно, N , т. е. совершенно точно абсолютную величину молекулы; оказывается, что определенная таким способом величина молекулы находится в удовлетворительном согласии с результатами, полученными в теории газов. С тех пор стали известны опирающиеся на совершенно другую основу точные определения N , блестяще подтвердившие результат Планка.

Но каков смысл второй входящей в формулу излучения Планка константы h ? Чтобы получить пригодную формулу излучения, Планк вынужден был предположить, что энергия системы резонаторов состоит из дискретных квантов энергии величиной $h\nu_0$. Это предположение не согласуется с электродинамикой, т. е. не согласуется даже с первой частью исследования самого Планка. В этом заключается та большая трудность, которая занимает теоретиков уже около восьми лет. Чтобы устранить эту трудность, Планк в последние годы видоизменил свою теорию. Добился ли он при этом правильных результатов, должно решить будущее.

Во всяком случае выяснилась не только пригодность самой формулы Планка, но и реальность вспомогательных величин, появившихся при теоретическом рассмотрении вопроса. С одной стороны, при изучении электрооптического эффекта и катодных лучей, испускаемых веществом под воздействием рентгеновского излучения, было установлено, что кван-

ты энергии действительно проявляются при поглощении излучения. С другой стороны, изучение уменьшения удельной теплоемкости твердых тел при низких температурах показало, что зависимость теплоемкости любого тела от температуры соответствует выводам не статистической механики, а планковской теории резонаторов.

Наконец, третья область, в которой Планк добился успеха,— это теория относительности. Тот факт, что теория относительности быстро вызвала большой интерес среди физиков, в значительной степени объясняется теплой и решительной поддержкой, которую ей оказал Планк. Он первым установил релятивистский закон движения материальной точки и показал, что принцип наименьшего действия имеет в теории относительности такое же фундаментальное значение, как и в классической механике. В одном исследовании по динамике системы Планк указал на важную взаимозависимость, связывающую, согласно теории относительности, энергию и инертную массу.

Вспомним наконец о его книгах по термодинамике и тепловому излучению — шедеврах физической литературы. В этих книгах, без которых не обходится ни одна библиотека физика, Планк объединил большую часть важнейших результатов своих исследований, сделав их доступными своим коллегам по профессии. То удовольствие, которое испытываешь, когда берешь в руки эти книги, в немалой степени обусловлено простым, поистине художественным стилем, присущим всем работам Планка. При изучении его трудов вообще создается впечатление, что требование художественности является одной из главных пружин его творчества. Ведь недаром рассказывают, что Планк после окончания гимназии сомневался, посвятить ли себя изучению математики и физики или же музыке.

Пусть неутомимые стремления этого человека к познанию будут плодотворными. Пожелаем, чтобы он и в будущем оказывал науке бесценные услуги, особенно на пути решения тех трудностей, которые сегодня стоят перед нами в результате его же работ.

На русский язык переводилось много книг и статей М. Планка. Среди них: «Лекции по термодинамике», СПб., 1900; «Введение в теоретическую физику» (ч. I, Механика, 1927; ч. II, Механика деформируемых тел, 1927; ч. III, Электричество и магнетизм, 1933; ч. IV, Оптика, 1934; ч. V, Теория теплоты, 1935); «Теория теплового излучения» (перевод с 5-го немецкого издания), 1925; «Термодинамика» (перевод с 7-го немецкого издания), 1925; «Принцип сохранения энергии» (перевод с 4-го немецкого издания), 1938. В 1966 г. в изд-ве «Наука» вышел сборник статей Планка «Единство физической картины мира».

ВСТУПИТЕЛЬНАЯ РЕЧЬ *

Глубокоуважаемые коллеги! Разрешите прежде всего принести вам свою глубокую благодарность за оказанную услугу, наиболее ценную из тех, какую только можно оказать такому человеку, как я. Избранием в вашу Академию вы освободили меня от волнений и забот службы и позволили полностью посвятить себя занятиям наукой. Заверяю вас в своем чувстве благодарности и настойчивости моих усилий, даже если плоды моих трудов покажутся вам неприметными.

Позвольте мне в связи с этим сделать несколько общих замечаний о месте, которое занимает область моей деятельности, теоретическая физика, по отношению к экспериментальной физике. Один знакомый математик полусуто сказал мне недавно: «Математик на что-то способен, но, разумеется, как раз не на то, что от него хотят получить в данный момент». Аналогично ведет себя часто физик-теоретик, приглашенный дать совет физику-экспериментатору. В чем причина этой характерной неприспособленности?

Для применения своего метода теоретик в качестве фундамента нуждается в некоторых общих предположениях, так называемых принципах, исходя из которых он может вывести следствия. Его деятельность, таким образом, разбивается на два этапа. Во-первых, ему необходимо отыскать эти принципы, во-вторых, — развивать вытекающие из этих принципов следствия. Для выполнения второй задачи он основательно вооружен еще со школы. Следовательно, если для некоторой области и, соответственно, совокупности взаимосвязей первая задача решена, то следствия не заставят себя ждать. Совершенно иного рода первая из названных задач, т. е. установление принципов, могущих служить основой для дедукции. Здесь не существует метода, который можно было бы выучить и систематически применять для достижения цели. Исследователь должен, скорее, вывести у природы четко формулируемые общие прин-

* *Antrittsrede*. Sitzungsber. preuss. Akad. Wiss., 1914, p. 2, 739—742.

ципы, отражающие определенные общие черты огромного множества экспериментально установленных фактов.

Если такая формулировка удалась, начинается развитие следствий, которые часто дают непредвиденные соотношения, ведущие далеко за пределы области фактов, из которых были получены принципы. Но до тех пор, пока принципы, могущие служить основой для дедукции, не найдены, отдельные опытные факты теоретику бесполезны, ибо он не в состоянии ничего предпринять с отдельными эмпирически установленными общими закономерностями. Наоборот, он застывает в беспомощном состоянии перед единичными результатами эмпирического исследования до тех пор, пока не раскроются принципы, которые он сможет сделать основой для своих дедуктивных построений.

В подобном положении находится в настоящее время теория, касающаяся законов теплового излучения и молекулярного движения при низких температурах. Лет 15 тому назад не сомневались в том, что, исходя из приложений механики Галилея — Ньютона и теории электромагнитного поля Максвелла к молекулярному движению, можно правильно описать электрические, оптические и тепловые свойства тел. И вот Планк показал, что для установления соответствующего опытам закона теплового излучения нужно воспользоваться методом расчета, несовместимость которого с принципами классической механики становилась все более ясной. Этим методом расчета Планк ввел в физику так называемую квантовую гипотезу, которая за прошедшее с тех пор время была блестяще подтверждена. Этой гипотезой он отверг классическую механику для случаев, когда достаточно малые массы движутся с достаточно малыми скоростями и достаточно большими ускорениями, так что сегодня мы можем рассматривать установленные Галилеем и Ньютоном законы только как предельные. Но несмотря на усилия теоретиков, до сих пор не удалось заменить принципы механики другими, которые бы соответствовали планковскому закону теплового излучения и гипотезе квантов. Хотя установлено с несомненностью, что теплота сводится к движению молекул, мы должны признать, что находимся по отношению к основным законам этого движения в том же положении, в котором до Ньютона астрономы находились по отношению к законам движения планет.

Я только что указал на совокупность фактов, для теоретического рассмотрения которых отсутствуют принципы. Но можно указать также случаи, когда четко сформулированные принципы ведут к следствиям, которые полностью или почти полностью выходят за рамки явлений, доступных исследованию в настоящее время. Чтобы узнать, соответствуют ли в этом случае принципы теории истине, понадобится, может быть, многолетняя экспериментальная исследовательская работа. Именно так обстоит дело с теорией относительности.

Анализ основных представлений о пространстве и времени показал, что установленный в оптике движущихся тел закон постоянства скорости света в вакууме отнюдь не вынуждает нас принять теорию некоторого неподвижного эфира. Напротив, нужно построить общую теорию, учитывающую то обстоятельство, что проведенные на Земле опыты ничего не могут сказать о поступательном движении Земли. При этом используется принцип относительности, который гласит: вид законов природы не меняется, если от начальной (принятой за таковую) системы координат перейти к другой, движущейся относительно первой равномерно и прямолинейно. Эта теория получила замечательные экспериментальные подтверждения и привела к упрощению теоретического изложения совокупности фактов, уже приведенных в соответствии друг с другом.

Вместе с тем, с теоретической точки зрения эта теория не дает полного удовлетворения, потому что сформулированный выше принцип относительности отдает предпочтение равномерному движению. Если верно, что с физической точки зрения равномерному движению нельзя приписывать абсолютного смысла, то возникает вопрос: нельзя ли распространить это утверждение и на неравномерные движения? Оказывается, что если положить в основу таким образом обобщенный принцип относительности, то можно достигнуть вполне определенного развития теории относительности. Это приводит к общей теории тяготения, включающей динамику. Но пока отсутствует фактический материал, на котором можно было бы проверить обоснованность положенного в основу принципа.

Мы установили, что индуктивная физика ставит перед дедуктивной, а дедуктивная физика — перед индуктивной вопросы, решение которых требует напряжения всех сил. Пусть объединенные усилия позволят вскоре добиться решающих успехов!

Статья включена в сб. «Mein Weltbild» (стр. 140) под названием «Принципы теоретической физики». Под тем же названием печатался ее английский перевод в «Ideas and Opinions» и русский перевод в сб. «Физика и реальность» (М., 1965).

Речь произнесена Эйнштейном 2 июля 1914 г. после избрания его в Прусскую Академию наук. С ответной речью выступил непреременный секретарь Академии Макс Планк. Перевод речи Планка помещен в сборнике: М. П л а н к. «Единство физической картины мира». М., 1966.

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ Г. А. ЛОРЕНЦА „ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ“ *

Имеется немало авторов, способных ясно и просто изложить рассматриваемую теорию. Однако результаты почти всегда преподносятся читателю в готовом виде. Он не переживает радости поисков и находок, не ощущает живого процесса становления идей, и ему редко удается достичь ясного понимания всех обстоятельств, которые позволили избрать именно этот, а не какой-нибудь другой путь. При чтении же той небольшой работы, о которой идет речь в данной рецензии, читатель, напротив, сможет *прочувствовать* весь ход развития идей. Эту небольшую книжку должен прочесть каждый, кто интересуется теорией относительности.

В первой лекции Лоренц дает обзор важнейших фактов, приводящих к (первоначальному варианту) теории относительности, и излагает теорию преобразований Лоренца и их кинематические приложения (лоренцовское сокращение, движущиеся часы, эффект Допплера, опыт Физо). Во второй лекции рассматривается ковариантность уравнений электродинамики в вакууме и законы движения материальных точек. Далее излагается, какие изменения надлежит внести в ньютоновскую теорию тяготения для того, чтобы привести ее в соответствие с требованиями (первоначального варианта) теории относительности. Рассматривается вопрос о том, к каким экспериментально проверяемым (хотя бы в принципе) следствиям это приводит. Связь между инертной массой и энергией системы поясняется на многих примерах. Третья лекция посвящена основам общей теории относительности, подтверждаемой экспериментально. Эта теория позволяет обобщить принцип относительности на случай неравномерного движения. Подробно излагаются физические факты, свидетельствующие в пользу такого обобщения теории. Указаны наиболее очевидные следствия, к которым приводит общая теория относительности. При рассмотрении этих вопросов автор ограничился лишь первым приближением, ибо рассмотрение указанных проблем в их полном объеме далеко выходило бы за рамки этих лекций.

* *Besprechung: Lorentz H. A. Das Relativitätsprinzip. Drei Vorlesungen, gehalten in Teylers Stiftung zu Haarlem. (Deutsch.). Bearbeitet von W. H. Keesom. Leipzig, B. G. Teubner, 1914. Naturwiss., 1914, 2. Jahrgang, 1018.*

**ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ Э. ФРЕЙНДЛИХА
„ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЯГОТЕНИЯ
ЭЙНШТЕЙНА“ ***

В излагаемой далее работе г-н Фрейндлих предпринял попытку разъяснить широкому кругу читателей, из каких идейных и эмпирических источников берет начало общая теория относительности. При чтении этой книги у меня создалось впечатление, что ее автору удалось сделать основные идеи теории относительности доступными для каждого, кто хоть немного знаком с методами мышления в точных науках. Увлекательно изложены связи рассматриваемой проблемы с математикой, теорией познания, физикой и астрономией. Особенно подробно автор останавливается на глубоких идеях математика Римана, намного опередившего свое время. Г-н Фрейндлих не только знаток рассматриваемой области знания и умелый популяризатор ее. Среди своих коллег он был первым, кто принялся за тщательную проверку теории относительности. Пусть же его небольшое сочинение доставит читателю много радости!

Книга Фрейндлиха переводилась на русский язык. (М., Пг., 1924.)

* *Vorwort.* В кн.: E. F. F r e u n d l i c h. Die Grundlagen der einsteinschen Gravitationstheorie. Berlin, Springer, 1916.

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ Г. А. ЛОРЕНЦА „СТАТИСТИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ В ТЕРМОДИНАМИКЕ“ *

Каждому, кто хоть когда-нибудь изучал математические теории, знакомо то неприятное чувство, которое охватывает, когда шаг за шагом прослеживаешь все доказательство и после всех тяжких трудов вдруг осознаешь, что ровным счетом ничего не понял, упустил главную идею, которую автор не подчеркнул либо вследствие неумения ясно выразить свои мысли, либо (что особенно часто встречалось раньше) из-за какого-то непонятного, почти комического кокетства. Помочь этой беде может лишь безграничная честность автора, который не должен бояться давать в руки своих читателей руководящие идеи даже в том случае, если эти идеи несовершенны. В теоретической физике вряд ли существует область, в которой этой заповеди было бы труднее следовать, чем в статистической механике. Всякий, кто знаком с этой областью физики, согласится со мной, что Гиббс в своем основополагающем труде по статистической механике грешит против этой заповеди: многие прочли его книгу, проверили каждый шаг излагаемых в ней доказательств и *ничего не поняли*. Это печальное положение вещей исправлено Лоренцем в его первых трех лекциях, в которых он изложил основы теории в настолько простой математической форме, что все основные идеи выступили особенно отчетливо.

При этом на первый план Лоренц выдвигает принцип Больцмана и тщательно разбирает вопрос о том, как надлежит определять вероятность W в соотношении Больцмана

$$S = \kappa \ln W.$$

Лоренц использует следующее определение:

$$W = \text{Интеграл по фазовому пространству,}$$

* *Besprechung: Lorentz H. A. Les théories statistiques en thermodynamique. Conférences faites au Collège de France en Novembre 1912 rédigées en 1913 par L. Du-noyer. Leipzig — Berlin, B. G. Teubner, 1916. Naturwiss. 4. Jahrgang, H. 31, 4. August 1916, 480—481.*

и показывает, что это определение в сущности совпадает с другим определением, предложенным рецензентом, согласно которому

$$W = \text{Частота.}$$

В этой связи автор подробно останавливается на тех причинах, которые позволяют ему устранить трудности, возникающие, если принять второе, более наглядное определение. На это место я хотел бы особенно обратить внимание читателя.

В двух последних лекциях речь идет главным образом о броуновском движении и флуктуациях. В последней лекции мастерски излагаются применения теории флуктуаций к выводу формулы излучения Планка. При этом подробно разбираются известные статистические свойства излучения, которые нельзя получить, исходя из волновой теории. То, что именно эти вопросы вызвали интерес у Г. А. Лоренца, особенно приятно рецензенту. Каждый физик сможет многому научиться, прочитав эту блестяще написанную книжку.

Русский перевод лекций Лоренца был издан с дополнениями Ю. А. Круткова. См. Г. А. Л о р е н ц. Статистические теории в термодинамике. Л.—М., 1935.

АВТОРЕФЕРАТ РАБОТЫ „ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ“ *

В этой небольшой по объему работе¹ автор изложил результаты своих исследований по общей теории относительности. Первые 14 страниц посвящены основным идеям теории. Затем следует сжатое, но тем не менее достаточно подробное изложение теории инвариантов в той мере, в какой это необходимо для понимания теории. В последующих трех разделах развивается сама теория, а также указывается ее связь с ньютоновской механикой и теорией гравитации. Автор видел свою основную задачу в том, чтобы как можно более отчетливо показать те методы, которые позволили ему создать общую теорию относительности. Разумеется, в работе ничего не говорится о тех рассуждениях, которые оказались ошибочными или не вели прямо к цели. Подробное изложение основных идей теории, не содержащее математического аппарата, можно найти в только что вышедшей из печати в издательстве Шпрингера брошюре астронома Э. Фрейндлиха «Основы теории тяготения Эйнштейна»².

* *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*. Naturwiss., 1916, 4. Jahrgang, 481.

¹ A. Einstein. *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*. Leipzig, Johann Ambr. Barth, 1916.

² Ср. статью 4.— *Ред.*

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЕТА И ВОЛН НА ВОДЕ*

Откуда берется подъемная сила крыла наших самолетов и птиц, парящих в воздухе? В этих вопросах царит полная неясность. Должен признаться, что и в специальной литературе я не мог найти на них даже простейшего ответа. Я надеюсь поэтому, что читателю доставит удовольствие, если я попытаюсь восполнить этот пробел с помощью следующих несложных рассмотрений из теории движения жидкости.

Несжимаемая жидкость, внутренним трением которой мы будем пренебрегать, течет по суживающейся трубе (рис. 1) в направлении, указанном стрелками. Нас будет интересовать распределение давления в трубе. Так как через каждое сечение в единицу времени должно протекать одно и то же количество жидкости, скорость течения q будет наибольшей там, где площадь сечения минимальна, и наименьшей там, где площадь сечения максимальна. Поэтому на рис. 1 скорость частиц жидкости наименьшая в точке L и непрерывно возрастает по направлению к R . Причиной вызывающей такое ускорение частиц жидкости, является не что иное, как действующая на них сила давления. Рассмотрим частицу F жидкости, занимающую цилиндрический объем. Чтобы эта частица жидкости F имела в данный момент ускорение, направленное вправо, давление на ее заднюю поверхность A должно быть больше давления на ее переднюю поверхность B . Давление на поверхность A превосходит давление на поверхность B . Повторяя эти рассуждения, мы приходим к заключению, что давление в трубе непрерывно падает от L к R . Такое же распределение давления (убывание давления от L к R) мы получим с помощью аналогичного рассуждения и в том случае, когда направление течения жидкости изменится на обратное.

Обобщая сказанное, мы можем сформулировать следующую хорошо известную теорему гидродинамики невязкой жидкости. Если мы просле-

* *Elementare Theorie der Wasserwellen und des Fluges* Naturwiss., 1916, 4. Jahrgang, 509—510.

дим за траекторией какой-нибудь частицы жидкости в стационарном потоке, то давление p всегда будет больше там, где скорость его q меньше,

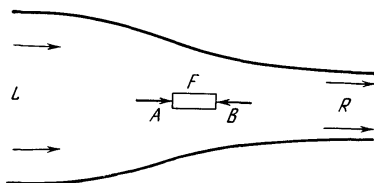


Рис. 1.

и наоборот. Как известно, количественное выражение этой теоремы для несжимаемых жидкостей имеет вид

$$p = \text{const} - \frac{1}{2} \rho q^2,$$

где ρ — плотность жидкости.

Рассмотрим прежде всего один общеизвестный пример, иллюстрирующий эту теорему, — истечение жидкости, находящейся под постоянным

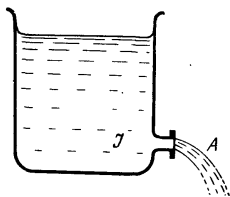


Рис. 2

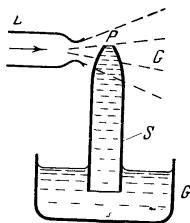


Рис. 3

давлением, из отверстия (Торичелли). В точке J (рис. 2) давление больше, а скорость, наоборот, меньше, чем в точке A , так что выражение

$$p + \frac{1}{2} \rho q^2$$

постоянно во внешней струе.

В качестве второго примера рассмотрим пульверизатор (рис. 3). Воздушный поток, проходящий по трубке L , после выхода из отверстия расширяется во все стороны, уменьшая при этом свою скорость. Поэтому давление в точке P меньше, чем в точке G , и, следовательно, меньше, чем в окружающем точку P покоящемся воздухе. Жидкость из сосуда G за

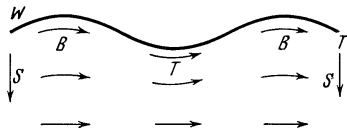


Рис. 4

счет пониженного давления в точке P поднимается вверх и разбрызгивается потоком воздуха на мелкие капельки. (То, что в этом примере мы имеем дело с потоком воздуха, а не с потоком несжимаемой жидкости, в сущности ничего не меняет в наших рассуждениях.)

После этих приготовлений обратимся к рассмотрению волн на воде. Пусть W — твердая стенка, имеющая вид волнистого цилиндра и расположенная перпендикулярно к плоскости чертежа, с одной стороны граничит с потоком жидкости, текущим слева направо (рис. 4). Нас будет интересовать сила, с которой жидкость действует на стенку. Ясно, что поперечное сечение потока жидкости в точках B больше, чем в точках T . Следовательно, вблизи точек B жидкость будет течь медленнее, а вблизи точек T — быстрее, чем в тех точках внутри жидкости, которые расположены вдали от стенки W . Поэтому вблизи точек B поток жидкости будет создавать избыточное давление, а вблизи точек T будет наблюдаться разрежение. В результате жидкость будет давить на стенку так, как будто она стремится увеличить ее изгиб. Это означает, что поток не мог бы поддерживаться, если бы поверхность жидкости была свободной и, соответственно, если бы стенка могла неограниченно изгибаться и растягиваться¹.

В этих рассуждениях, как и ранее, мы исходили из предположения, что не существует никаких других причин, вызывающих давление, кроме течения жидкости. Если же в направлении стрелки S действует сила тяжести, то она приводит к появлению в жидкости силы давления, убывающей сверху вниз. Если бы действовала только одна сила тяжести, то давление в точках B было бы меньше, чем в точках T .

¹ Известно, что эти же соображения позволяют объяснить, почему флаг полощется на ветру.

Итак, течение и сила тяжести порождают предпосылки к появлению различных разностей давления между точками B и T . Ясно, что можно так подобрать скорость течения жидкости, что обусловленные обеими причинами результирующие разности давлений между точками B и T будут равны нулю. После этого стенку W можно удалить, не внося при этом никаких возмущений в течение жидкости. В результате мы получим течение жидкости с волнообразно искривленной поверхностью, какую часто можно наблюдать при обтекании потоком какого-нибудь препятствия. Такую картину мы наблюдаем, глядя с моста в воду, если стоим над опорой.

Если же мы задумаем описать весь процесс с точки зрения наблюдателя, движущегося направо со скоростью потока вдали от стенок, то мы придем к обычным волнам на поверхности воды. Для этого наблюдателя жидкость остается в покое, а гребни B и впадины T уплывают с постоянной скоростью назад.

Следовательно, возможность волнообразовательных процессов основывается на том, что статические и динамические разности давлений, возникающие между точками с различной высотой, взаимно погашают друг друга.

Совершенно аналогично выглядит и объяснение причин, обуславливающих появление подъемной силы крыла. Пусть в поток жидкости или воздуха вставлена твердая стенка, расположенная параллельно потоку и перпендикулярно плоскости чертежа (рис. 5), на верхней поверхности

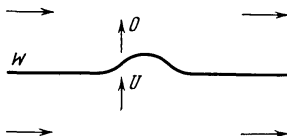


Рис. 5

которой имеется выпуклость. Если бы не было этой выпуклости, то на поверхность стенки, если не считать неизбежного трения, не действовало бы никаких сил. Выпуклость же будет влиять на течение жидкости как у верхней, так и у нижней поверхности стенки, и, таким образом, создаст дополнительное давление.

Для потока, обтекающего стенку снизу, выпуклость создаст местное увеличение поперечного сечения и, следовательно, замедление течения; в результате этого увеличится давление в точке U . На верхней же

поверхности, наоборот, выпуклость означает уменьшение поперечного сечения, а, значит, местное повышение скорости потока и тем самым падение давления в точке O . Таким образом, динамические силы давления, производимого потоком, создают силу, действующую на стенку и направленную вверх. Ясно, что для появления этой силы необходимо лишь, чтобы кусок стенки был настолько велик, насколько это требуется для заметного изгибания потока жидкости. Мы получаем несущее крыло самолета или птицы (не машущей крыльями в полете).

Уже из этих простейших рассуждений видно, что для полета требуется лишь определенная мощность, поскольку необходимо преодолеть сопротивление неизбежного трения. Если бы трения не было, птицы могли бы летать на любые расстояния по горизонтали, не затрачивая при этом никакой работы.

Еще в 1910 г. появились работы Жуковского, о которых Эйнштейн не знал, а потом и работы Кутта.

ЭРНСТ МАХ *

В эти дни от нас навсегда ушел Эрнст Мах, человек, обладавший редкой независимостью взглядов и оказавший огромное влияние на гносеологическую ориентацию естествоиспытателей нашего времени. Способность искренне радоваться созерцанию и познанию мира, *amor dei intellectualis* Спинозы, была развита у него настолько сильно, что он до глубокой старости смотрел на мир любопытными глазами ребенка и безмятежно радовался, познавая открывающиеся связи явлений этого мира.

Как вообще могло случиться, что столь одаренный естествоиспытатель вынужден был заботиться о теории познания? Разве по его собственной специальности ему не осталось достойной работы? Такие вопросы мне иногда приходится слышать от некоторых моих коллег. Еще чаще такие вопросы если и не задаются вслух, то подразумеваются. Я не могу разделять таких убеждений. Мне приходят на ум наиболее сильные студенты, которых мне довелось встречать в процессе моей преподавательской деятельности, т. е. студенты, отличающиеся не только умением быстро отвечать на вопросы, но и самостоятельностью мышления. Должен сказать, что такие студенты живо интересовались теорией познания. Они охотно вступали в дискуссии о целях и методах науки, и их упорство в отстаивании собственных точек зрения недвусмысленно показывало, что этот предмет представляется им чрезвычайно важным. И этому, право, не следует удивляться.

Если я посвятил себя науке, руководствуясь не такими чисто внешними мотивами, как добывание денег или удовлетворение своего честолюбия, и не потому (по крайней мере, не только потому), что считаю ее спортом, гимнастикой ума, доставляющей мне удовольствие, то один вопрос должен представлять для меня как приверженца науки жгучий интерес: какую цель должна и может ставить перед собой наука, которой я

* *Ernst Mach. Phys. Zs., 17. Jahrgang, 1916, N 7, 101—104.*

себя посвятил? Насколько «истинны» ее основные результаты? Что в них существенно и что зависит лишь от случайностей ее развития?

Чтобы по достоинству оценить заслуги Маха, не следует пытаться ответить на вопрос: «Что нового внес Мах во все эти общие вопросы и что не приходило в голову никому другому до него?» Истину в подобного рода вопросах сильным натурам всегда приходится добывать заново, в соответствии с потребностями своего времени, ради удовлетворения которых и работает творческая личность. Если эта истина не будет постоянно воссоздаваться, то она окажется вообще для нас потерянной. Поэтому так трудно ответить на вопрос: «Что принципиально нового знал Мах по сравнению с тем, что знали Бэкон и Юм? Что существенно отличает его от Стюарта Милля, Кирхгофа, Герца, Гельмгольца, что достигнуто им с общей гносеологической точки зрения в отношении конкретных наук?» Дело в том, что Мах своими историко-критическими статьями, в которых он с такой любовью проследил за процессом становления отдельных наук и раскрыл внутреннюю лабораторию отдельных исследователей, проложивших новые пути в своих областях науки, оказал огромное влияние на ученых нашего поколения. Я даже думаю, что те, кто считает себя противником Маха, вряд ли сознают, сколько высказанных им идей они, так сказать, впитали с молоком матери.

По Маху, наука представляет собой не что иное, как сопоставление и упорядочение реально данных нам ощущений в соответствии с некоторыми постепенно выработанными нами точками зрения и методами. Таким образом, физика и психология отличаются друг от друга не предметом, а точками зрения, в соответствии с которыми упорядочен и объединен материал. Мах видел важнейшую задачу этих наук, занимающих особое место в его исследованиях, в том, чтобы проследживать, как это упорядочение осуществляется в конкретных деталях. В результате такого упорядочения возникают абстрактные понятия и законы (правила), связывающие их. И те, и другие выбираются с таким расчетом, чтобы вместе они составляли схему упорядочения, в соответствии с которой упорядочиваемые данные можно расположить в виде легко обозримых рядов. В силу сказанного понятия имеют смысл лишь в той мере, в какой они позволяют выявить относящиеся к ним вещи, а также точку зрения, в соответствии с которой эти вещи упорядочены (анализ понятий).

Значение таких мыслителей, как Мах, состоит отнюдь не только в том, что они удовлетворяют определенные философские потребности своего времени, которые ученые, занимающиеся конкретными вопросами своей науки, могли бы считать роскошью. Понятия, которые оказываются полезными при упорядочении вещей, легко завоевывают у нас такой авторитет, что мы забываем об их земном происхождении и воспринимая их как нечто неизменно данное. В этом случае их называют «логически

необходимыми», «априорно данными» и т. д. Подобные заблуждения часто надолго преграждают путь научному прогрессу. Поэтому анализ давно используемых нами понятий и выявление обстоятельств, от которых зависят их обоснованность, пригодность, и того, как они возникают из данных опыта, не является праздною забавой. Такой анализ позволяет подорвать излишне большой авторитет этих понятий. Они будут отброшены, если их не удастся узаконить должным образом, исправлены, если они не вполне точно соответствуют данным вещам, заменены другими, если необходимо создать какую-нибудь новую, в каких-то отношениях более предпочтительную систему.

Ученому, занимающемуся конкретными проблемами, чье внимание привлекают лишь частности, подобный анализ покажется излишним, претенциозным и даже смешным. Однако ситуация меняется, когда развитие соответствующей науки требует, чтобы какое-нибудь обычно употребляемое понятие было заменено новым, более точным. Тогда те, кто обращался с понятиями своей науки, не особенно вдаваясь в их смысл, начинают энергично протестовать и жаловаться на революционную угрозу, грозящую духовным благам. К этим крикам примешиваются голоса и тех философов, которые считают, что не могут обойтись без этого понятия, ибо они включили его в сокровищницу понятий, называемых ими «абсолютными», «априорными», или, короче, провозгласили принципиальную неизменность последних.

Читатель уже догадался, что я имею в виду в основном те понятия учения о пространстве и времени, а также те понятия механики, которые претерпели некоторые изменения под влиянием теории относительности. Никто не может отрицать, что в этом случае теория познания указала путь дальнейшего развития. Что же касается меня лично, то я должен сказать, что мне, прямо или косвенно, особенно помогли работы Юма и Маха. Я прошу читателя взять в руки работу Маха: «Механика. Историко-критический очерк ее развития» — и прочитать рассуждения, содержащиеся в разделах 6 и 7 второй главы («Взгляды Ньютона на время, пространство и движение» и «Критический обзор ньютоновских представлений»). В этих разделах мастерски изложены мысли, которые до сих пор еще не стали общим достоянием физиков. Эти разделы представляют для нас особый интерес еще и потому, что содержат дословно цитированные отрывки из «Начал» Ньютона. Приведем несколько наиболее важных мест.

Ньютон: «Абсолютное, истинное, математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно, иначе оно называется длительностью».

«Относительное, кажущееся, или обыденное время есть точная или изменчивая, постигаемая чувствами внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения мера продолжительности, употребляемая в

обыденной жизни вместо истинного, математического времени, как-то: час, день, месяц, год»¹.

Мах: «...Если положение некоторого предмета A изменяется со временем, то это означает лишь, что состояние предмета A зависит от состояния некоторого другого предмета B . Колебания маятника протекают *во времени*, ибо его отклонения зависят от положения Земли. Так как при наблюдении маятника нам не нужно принимать во внимание зависимость его отклонений от положения Земли, мы можем сравнить его отклонение с положением какого-либо другого предмета (...), в результате чего может создаться иллюзия о несущественности всех этих предметов... Мы не в состоянии измерять изменения предметов *во времени*. Более того, время является абстракцией, к которой мы приходим через изменение предметов. У нас нет никакой определенной меры времени, ибо все связано между собой»².

Ньютон: «Абсолютное пространство по самой своей сущности безотносительно к чему бы то ни было внешнему и остается всегда одинаковым и неподвижным».

«Относительное есть его мера или какая-либо его ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел, которое в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное».

Далее следует соответствующее определение понятия «абсолютного движения» и «относительного движения». Вот оно:

«Проявления, которыми различаются абсолютное и относительное движение, состоят в силах стремления удалиться от оси вращательного движения, ибо в чисто относительном вращательном движении эти силы равны нулю, в истинном же и абсолютном они больше или меньше, сообразно количеству движения»³.

Затем следует описание известного опыта с ведром, который должен служить наглядным обоснованием последнего утверждения.

Очень интересна осуществляемая Махом критика этой точки зрения. Я приведу лишь наиболее выразительные места из той же «Механики»⁴.

«Когда мы говорим, что тело K изменяет направление движения и скорость только под действием другого тела K' , мы никогда не сможем узнать этого, если не будет других тел $A, B, C, \dots$, относительно которых можно было бы судить о движении тела K . Следовательно, мы познаем, собственно

¹ И с а а к Н ь ю т о н. Математические начала натуральной философии. Пер. А. И. Крылова. Пг., 1915, стр. 30. См. также Собр. сочинений А. Н. Крылова, т. 7, М., 1936. — *Прим. ред.*

² Э. М а х. Механика. СПб., 1909, стр. 186. — *Прим. ред.*

³ Н ь ю т о н. Цит. соч., стр. 33. — *Прим. ред.*

⁴ Э. М а х. Цит. соч., стр. 191. — *Прим. ред.*

говоря, некоторое отношение тела K к телам $A, B, C, \dots$ Если же мы не будем принимать в расчет тела $A, B, C, \dots$ и будем говорить о поведении тела K в абсолютном пространстве, то мы совершим при этом двойную ошибку. Во-первых, мы не можем знать, как вело бы себя тело K в отсутствие тел $A, B, C, \dots$ Во-вторых, у нас не будет никаких средств, с помощью которых можно было бы проследить за поведением тела K и проверить наши суждения, которые, в силу этого, не будут иметь никакого физического смысла.

«О движении тела K можно судить лишь по отношению к другим телам $A, B, C, \dots$ Поскольку в нашем распоряжении всегда имеется достаточное количество жестко закрепленных или медленно меняющих свое положение друг относительно друга тел, мы не должны вести отсчет относительно какого-то одного *определенного* тела и исключать из рассмотрения то одно из этих тел, то другое. Отсюда и возникает мнение, будто эти тела вообще несущественны».

«Опыт Ньютона с вращающимся сосудом, наполненным водой, показывает лишь, что при вращении воды относительно *стенок* сосуда сколько-нибудь заметных центробежных сил не возникает, но что такие силы появляются при вращении воды относительно Земли или других небесных тел. Никто не может сказать, как протекал бы опыт, если бы стенки сосуда становились все толще и массивнее, пока, наконец, не достигли бы толщины в несколько миль...»

Приведенные строки показывают, что Мах ясно понимал слабые стороны классической механики и был недалек от того, чтобы прийти к общей теории относительности. И это за полвека до ее создания! Весьма вероятно, что Мах сумел бы создать общую теорию относительности, если бы в то время, когда он еще был молод духом, физиков волновал вопрос о том, как следует понимать постоянство скорости света. При отсутствии интереса к факту постоянства скорости света, вытекающему из электродинамики Максвелла — Лоренца, потребности Маха в критике оказались недостаточными, чтобы он смог почувствовать необходимость определения одновременности пространственно разделенных событий.

Рассуждения Маха о ньютоновском опыте с ведром показывают, сколь близко его духу было требование относительности в обобщенном смысле (относительности ускорения). Во всяком случае, в этих рассуждениях чувствуется ясное понимание того, что требование равенства инертной и тяжелой массы тел приводит к постулату относительности в более широком смысле, ибо с помощью эксперимента мы не можем отличить, обусловлено ли падение тела относительно некоторой системы отсчета наличием какого-то гравитационного поля или ускорением системы отсчета.

По своим духовным запросам Мах был не философом, избравшим естественные науки объектом своих умозрительных построений, а естество-

испытателем, отличающимся разносторонностью интересов и упорством в работе, которому мог доставить огромное удовольствие какой-нибудь частный вопрос, лежащий в стороне от проблем, привлекавших всеобщее внимание. Именно этим объясняются его многочисленные исследования по конкретным проблемам из области физики и эмпирической психологии, которые он опубликовал частично под своим именем, частично вместе со своими учениками. Из его физических экспериментальных работ наибольшую известность получили исследования звуковых волн, образующихся при полете снарядов. Хотя эти исследования и не были основаны на принципиально новых идеях, они все же показали чрезвычайную одаренность Маха как экспериментатора. Ему удалось с помощью фотосъемки установить распределение плотности воздуха в окрестности снаряда, летящего со сверхзвуковой скоростью, и пролить свет на целый класс неизвестных до него акустических процессов. Его популярная лекция на эту тему доставит каждому радость, какую только может дать физика.

Философские исследования Маха были вызваны лишь желанием разработать точку зрения, позволяющую единым образом рассматривать различные области науки, которым он посвятил всю свою жизнь. Он считал, что все науки объединены стремлением к упорядочению элементарных единичных данных нашего опыта, названных им «ощущениями». Этот термин, введенный трезвым и осторожным мыслителем, часто из-за недостаточного знакомства с его работами путают с терминологией философского идеализма и солипсизма.

При чтении работ Маха чувствуется, что автор получал удовольствие, находя красочные и меткие формулировки для своих мыслей. Однако не только интеллектуальное удовольствие и удовольствие от хорошего стиля делают столь привлекательным чтение его книг. Часто, особенно когда он говорит об общечеловеческих вещах, между строк сквозит его доброжелательное и человеколюбивое отношение к окружающим. Это отношение защитило его от болезни, пощадившей ныне лишь немногих, — от национального фанатизма. В последнем абзаце своей популярной статьи «О явлениях, происходящих при полете снарядов», он не мог не выразить надежду на будущее взаимопонимание между народами.

Поступила 14 марта 1916 г.

В этой статье-некрологе Эйнштейн отмечает роль Маха в критике классической механики. Оценка общей философской позиции Маха была явно неверной, и Эйнштейн впоследствии ее изменил (ср. статью 76).

На русском языке в 1909 г. вышли три книги Маха по физике: «Механика» (перевод с 6-го немецкого издания); «Популярно-научные очерки» (перевод с 3-го немецкого издания); среди них помещен и очерк «О явлениях полета пуль» (очерк XV), который упоминается в некрологе, и «Принцип сохранения работы».

ПАМЯТИ КАРЛА ШВАРЦШИЛЬДА *

11 мая сего года смерть вырвала из наших рядов Карла Шварцшильда. Ему было всего лишь сорок два года. Безвременная кончина этого высокоодаренного и разностороннего ученого является горькой утратой не только для нашей Академии, но и для всех друзей астрономической и физической науки.

В теоретических работах Шварцшильда особенно поражают уверенное владение математическими методами исследования и та легкость, с которой он постигает существо астрономической или физической проблемы. Редко встречаются столь глубокие математические познания в сочетании со здравым смыслом и такой гибкостью мышления, как у него. Именно эти дарования позволили ему выполнить важные теоретические работы в тех областях, которые отпугивали других исследователей математическими трудностями. Побудительной причиной его неиссякаемого творчества, по-видимому, в гораздо большей степени можно считать радость художника, открывающего тонкую связь математических понятий, чем стремление к познанию скрытых зависимостей в природе. Поэтому понятно, почему его первые теоретические работы относились к небесной механике, отрасли знаний, основы которой в гораздо большей степени можно считать окончательно установленными, чем основы какой бы то ни было другой области точных наук. Из этих работ я упомяну здесь лишь работу о периодических решениях проблемы трех тел и работу о теории Пуанкаре равновесия вращающихся жидких масс.

К числу важнейших астрономических работ Шварцшильда относятся его исследования по звездной статистике, т. е. науке, которая по статистическим закономерностям наблюдательных данных о яркости, скорости, спектральных типах неподвижных звезд, к которым относится и наше Солнце, пытается установить строение этих огромных небесных тел. В этой области астрономия обязана ему дальнейшим углублением и развитием закономерностей, открытых фон Каптайном.

* *Gedächtnisrede auf Karl Schwarzschild*. Sitzungsber. preuss. Akad. Wiss., 1916, T. I, 768—770.

Свои глубокие познания в области теоретической физики Шварцшильд поставил на службу теории Солнца. В этой области он заслужил признательность ученых своими исследованиями о механическом равновесии в солнечной атмосфере и процессах, определяющих излучение света Солнцем. Здесь следует упомянуть его изящную работу о давлении света на маленькие шары, позволившую поставить на прочную основу теорию кометных хвостов Аррениуса. Хотя это теоретическое исследование и посвящено решению астрономической проблемы, оно все же показывает, что в круг интересов Шварцшильда входили и чисто физические вопросы. Мы воздаем ему должное за интересные исследования по основам электродинамики. В последний год своей жизни он выдвинул также новую теорию гравитации. С помощью этой теории он впервые сумел точно вычислить гравитационные поля. В последние месяцы своей жизни, когда коварная болезнь уже начала подтачивать его силы, ему удалось выполнить остроумное исследование по квантовой теории.

К числу крупных теоретических работ Шварцшильда относятся его исследования по геометрической оптике, в которых он улучшил теорию ошибок для важнейших оптических инструментов, применяемых в астрономии. Уже одних этих результатов, позволивших усовершенствовать основное оружие астрономии, достаточно, чтобы признать его огромные заслуги перед этой наукой.

Теоретические работы Шварцшильда тесно связаны с его постоянной деятельностью астронома-практика. С 24-летнего возраста он непрерывно работает в обсерваториях: в 1896—1899 годах в качестве ассистента в Вене, в 1901—1909 годах в качестве директора Геттингенской обсерватории, а с 1909 г. — директором Потсдамского астрофизического института. Его деятельность как наблюдателя и руководителя астрономических наблюдений нашла свое отражение в целом ряде работ. Еще большую пользу, чем эта деятельность, принесли науке открытые им новые методы наблюдений, в которых нашел свое воплощение его живой дух. Он открыл названный в его честь закон почернения фотопластинок (этот закон представляет интерес и для экспериментальной физики), с помощью которого сумел использовать фотографические методы для фотометрических целей. Ему пришла в голову гениальная идея использовать для фотографических измерений яркости звезд экстрафокальные снимки. Благодаря этой идее фотографическая фотометрия звезд впервые получила право на существование наряду с визуальной.

С 1912 г. этот скромный человек был членом Академии. Он сумел обогатить Доклады Академии своими замечательными статьями даже за то короткое время, которое ему еще было суждено прожить. Неумолимая смерть унесла его, но труды его будут продолжать жить и приносить плоды той науке, которой он отдал все свои силы.

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ Г. ГЕЛЬМГОЛЬЦА „ДВА ДОКЛАДА О ГЁТЕ“*

В. Кениг выпустил в издательстве Фивега небольшую (64 страницы) книжку, содержащую два доклада, прочитанных Гельмгольцем в 1853 и 1892 гг. В первом докладе Гельмгольц попытался дать общую характеристику метода исследования Гёте как интуитивного упорядочивания опытных данных при полном игнорировании какой бы то ни было системы абстрактных понятий. Такая точка зрения и присущая Гёте наблюдательность позволили ему проложить новые пути в сравнительной анатомии животных и растений. Тем самым он стал одним из тех предшественников Дарвина, которым удалось достичь наиболее ценных результатов. Но та же самая точка зрения заставила его занять отрицательную позицию по отношению к системе понятий физики. Так, Гельмгольц объясняет бурную полемику, которую Гёте вел против ньютоновской теории цветов. Гёте отвергал эту теорию как таковую, не считая необходимым сравнивать с опытом те или иные следствия из теоретических соображений.

Второй доклад с восторгом прочтет каждый, кому может доставить радость научный подход к познанию мира. Здесь старый Гельмгольц, который всю свою жизнь провел в борьбе за научное познание, показывает, как Гёте исключил себя из созданной им картины мира. Особенно ясно вырисовывается в этом докладе отношение Гельмгольца к теории познания и, в частности, к теории познания Канта. Дорогой читатель! Высказывать какие-либо суждения по поводу этой книги означало бы заниматься профанацией. Лучше прочтите ее сами!

* *Besprechung: H. v. Helmholtz. Zwei Vorträge über Goethe.* Braunschweig, 1917. Naturwiss., 5. Jahrgang, 1917, 44, 675.

МАРИАН СМОЛУХОВСКИЙ *

5 сентября от нас ушел один из самых проникательных современных теоретиков, Мариан Смолуховский. Он умер, едва достигнув 45 лет, в Кракове во время эпидемии дизентерии.

Круг научных интересов Смолуховского охватывал молекулярную теорию теплоты. Особенно его интересовали те следствия из молекулярной кинетики, которые нельзя было понять с точки зрения классической термодинамики; он чувствовал, что, только изучив эти явления, можно будет преодолеть сильное сопротивление, которое оказывали молекулярной теории ученые конца XIX в.

То же скептическое мышление, которое значительно продвинуло электродинамику, очистив ее от ненужных механических образов, одновременно тормозило развитие учения о теплоте. После того как физики поняли, что теория может быть ясной и полной, не будучи основанной на механике, они отказались от механических теорий во всех областях физики. Поэтому понятно, почему Больцман в 1898 г. с печалью писал в предисловии ко второй части «Лекций по теории газов»: «По моему мнению, науке был бы нанесен серьезный урон, если бы из-за господствующих ныне враждебных настроений теория газов была бы предана временному забвению, подобно тому, как это случилось с волновой теорией из-за авторитета Ньютона»¹.

Уже в этом предисловии имелось указание на появившуюся в том же году теоретическую работу Смолуховского о скачке температуры между стенок и газом при распространении тепла в сильно разреженных газах. Это явление, открытое еще за 23 года до того Варбургом и Кундтом, действи-

* *Marian von Smoluchowski*. *Naturwiss.*, 1917, 5, 737—738.

¹ *L. Boltzmann*. *Vorlesungen über Gastheorie*. 2. Teil, 1898. [В русском переводе (Л. Больцман. Лекции по теории газов. М., 1953) это предисловие опущено. — *Ред.*]

тельно было сильным аргументом в пользу молекулярной кинетики. Каким образом можно было удовлетворительно объяснить увеличение скачка температуры между стенкой и газом при дальнейшем разрежении газа без помощи чуждого классическому учению о теплоте понятия длины свободного пробега?

Но чтобы изменить мнение противников механической теории тепла, нужны были еще более убедительные доказательства. Существование скачка температуры вряд ли можно было понять без кинетической теории, но реальность теплового движения еще не вытекала непосредственно из этого явления. Кинетической теории теплоты удалось добиться общего признания лишь в 1905—1906 гг., когда было доказано, что она может количественно объяснить давно открытое хаотическое движение взвешенных в жидкости микроскопических частиц, т. е. броуновское движение. Смолуховский создал особенно изящную и наглядную теорию этого явления, исходя из кинетического закона равномерного распределения энергии. Согласно этому закону, частица диаметром в 1 мк (с плотностью воды) должна двигаться в жидкости, находящейся в термодинамическом равновесии, с мгновенной скоростью в среднем около 3 мм/сек. Показав, что внутреннее трение постоянно уничтожает эту скорость, а неупорядоченные соударения восстанавливают ее, Смолуховскому удалось дать количественное объяснение явления.

Познание сущности броуновского движения привело к внезапному исчезновению всяких сомнений в достоверности больцмановского понимания термодинамических законов. Стало ясно, что термодинамическое равновесие в точном смысле слова вообще не существует, что скорее каждая надолго предоставленная самой себе система совершает беспорядочные колебания вокруг состояния идеального термодинамического равновесия. Тем не менее, как показывает общая теория, поскольку эти флуктуации очень малы, они в целом ускользают от наблюдения. Но в 1908 г. Смолуховскому удалось найти вторую группу наблюдаемых явлений, в которых эти флуктуации проявляются почти непосредственно. Это—опалесценция газов и жидкостей в критическом состоянии. Чем больше сжимаемость вещества или отдельной составной части этого вещества, тем больше непрерывные пространственно-временные флуктуации, испытываемые плотностью вследствие хаотичности теплового движения; на основе общей теории Смолуховский определил, что эти флуктуации должны привести к оптическому помутнению вещества. Голубой цвет неба, объяснение которому дал лорд Рэлей, также принадлежит к этой группе явлений, доказывающих существование пространственных флуктуаций плотности воздуха.

Остальные научные работы Смолуховского нельзя здесь рассматривать в отдельности. Но нужно напомнить о двух циклах докладов, которые он прочитал в 1913 и 1916 гг. по приглашению Гёттингенского

научного общества и которые были опубликованы в журнале «Physikalische Zeitschrift». Они дают хороший обзор деятельности этого так рано покинувшего нас ученого на протяжении всей его жизни. Каждый, кто близко знал Смолуховского, любил в нем не только остроумного ученого, но и благородного, тонкого и благожелательного человека. Мировая катастрофа последних лет возбудила в нем чувство неопишуемой боли за жестокость людей и за ущерб, причиненный нашему культурному развитию. Судьба слишком рано оборвала его благодатную деятельность в качестве исследователя и педагога; но мы будем высоко ценить пример его жизни и его труды.

Перевод статьи напечатан в сб. «Физика и реальность». В сб. «Броуновское движение» (М.— Л., 1936) включены 11 работ Смолуховского.

МОТИВЫ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ*

Храм науки — строение многосложное. Различны пребывающие в нем люди и приведшие их туда духовные силы. Некоторые занимаются наукой с гордым чувством своего интеллектуального превосходства; для них наука является тем подходящим спортом, который должен им дать полноту жизни и удовлетворение честолюбия. Можно найти в храме и других: плоды своих мыслей они приносят здесь в жертву только в утилитарных целях. Если бы посланный богом ангел пришел в храм и изгнал из него тех, кто принадлежит к этим двум категориям, то храм катастрофически опустел бы. Все-таки кое-кто из людей как прошлого, так и нашего времени в нем бы остался. К числу этих людей принадлежит и наш Планк, и поэтому мы его любим.

Я хорошо знаю, что мы только что с легким сердцем изгнали многих людей, построивших значительную, возможно, даже наибольшую, часть науки; по отношению ко многим принятое решение было бы для нашего ангела горьким. Но одно кажется мне несомненным: если бы существовали только люди, подобные изгнанным, храм не поднялся бы, как не мог бы вырасти лес из одних лишь вьющихся растений. Этим людей удовлетворяет, собственно говоря, любая арена человеческой деятельности: станут ли они инженерами, офицерами, коммерсантами или учеными—это зависит от внешних обстоятельств. Но обратим вновь свой взгляд на тех, кто удостоился милости ангела. Большинство из них — люди странные, замкнутые, уединенные; несмотря на эти общие черты они в действительности сильнее разнятся друг от друга, чем изгнанные. Что привело их в храм? Нелегко на это ответить, и ответ, безусловно, не будет одинаковым для всех. Как и Шопенгауэр, я прежде всего думаю, что одно из наиболее сильных побуждений, ведущих к искусству и науке, — это желание уйти от будничной жизни с ее мучительной жестокостью и безутешной пустотой, уйти от уз

* *Motiv des Forschens.* В сб. «Zu Max Plancks — 60. Geburtstag: Ausprachen in der Deutsche physikalische Gesellschaft». Karlsruhe, 1918, 29—32.

вечно меняющихся собственных прихотей. Эта причина толкает людей с тонкими душевными струнами от личных переживаний в мир объективного видения и понимания. Эту причину можно сравнить с тоской, неотразимо влекущей горожанина из шумной и мутной окружающей среды к тихим высокогорным ландшафтам, где взгляд далеко проникает сквозь неподвижный чистый воздух и наслаждается спокойными очертаниями, которые кажутся предназначенными для вечности.

Но к этой негативной причине добавляется и позитивная. Человек стремится каким-то адекватным способом создать в себе простую и ясную картину мира для того, чтобы оторваться от мира ощущений, чтобы в известной степени попытаться заменить этот мир созданной таким образом картиной. Этим занимаются художник, поэт, теоретизирующий философ и естествоиспытатель, каждый по-своему. На эту картину и ее оформление человек переносит центр тяжести своей духовной жизни, чтобы в ней обрести покой и уверенность, которые он не может найти в слишком тесном головокругительном круговороте собственной жизни.

Какое место занимает картина мира физиков-теоретиков среди всех возможных таких картин? Благодаря использованию языка математики эта картина удовлетворяет наиболее высоким требованиям в отношении строгости и точности выражения взаимозависимостей. Но зато физик вынужден сильнее ограничивать свой предмет, довольствуясь изображением наиболее простых, доступных нашему опыту явлений, тогда как все сложные явления не могут быть воссозданы человеческим умом с той точностью и последовательностью, которые необходимы физику-теоретику. Высшая аккуратность, ясность и уверенность — за счет полноты. Но какую прелесть может иметь охват такого небольшого среза природы, если наиболее тонкое и сложное малодушно и боязливо оставляется в стороне? Заслуживает ли результат столь скромного занятия гордого названия «картины мира»?

Я думаю — да, ибо общие положения, лежащие в основе мысленных построений теоретической физики, претендуют быть действительными для всех происходящих в природе событий. Путем чисто логической дедукции из них можно было бы вывести картину, т. е. теорию всех явлений природы, включая жизнь, если этот процесс дедукции не выходил бы далеко за пределы творческой возможности человеческого мышления. Следовательно, отказ от полноты физической картины мира не является принципиальным.

Отсюда вытекает, что высшим долгом физиков является поиск тех общих элементарных законов, из которых путем чистой дедукции можно получить картину мира. К этим законам ведет не логический путь, а только основанная на проникновении в суть опыта интуиция. При такой неопределенности методики можно думать, что существует произвольное число

равноценных систем теоретической физики; в принципе это мнение безусловно верно. Но история показала, что из всех мыслимых построений в данный момент только одно оказывается преобладающим. Никто из тех, кто действительно углублялся в предмет, не станет отрицать, что теоретическая система практически однозначно определяется миром наблюдений, хотя никакой логический путь не ведет от наблюдений к основным принципам теории. В этом суть того, что Лейбниц удачно назвал «предустановленной гармонией». Именно в недостаточном учете этого обстоятельства серьезно упрекают физики некоторых из тех, кто занимается теорией познания. Мне кажется, что в этом корень и прошедшей несколько лет назад полемики между Махом и Планком.

Горячее желание увидеть эту предустановленную гармонию является источником настойчивости и неистощимого терпения, с которыми, как мы знаем, отдался Планк общим проблемам науки, не позволяя себе отклоняться ради более благодарных и легче достижимых целей. Я часто слышал, что коллеги приписывали такое поведение необычайной силе воли и дисциплине, но мне представляется, что они не правы. Душевное состояние, способствующее такому труду, подобно религиозности или влюбленности: ежедневное старание проистекает не из какого-то намерения или программы, а из непосредственной потребности.

Он здесь вместе с нами, наш дорогой Планк; он внутренне посмеивается над этим моим ребяческим манипулированием фонарем Диогена. Наша симпатия к нему не нуждается в банальном обосновании. Пусть любовь к науке продолжает украшать ему жизнь и приведет его к разрешению им самим поставленной и значительно продвинутой важнейшей физической проблемы нашего времени. Пусть ему удастся объединить квантовую механику, электродинамику и механику в логически стройную систему.

Эта речь включена в сб. «Mein Weltbild» (Amsterdam, 1934) под заглавием «Принципы научного исследования». Русский перевод был напечатан в сб. «Физика и реальность».

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ ГЕРМАНА ВЕЙЛЯ „ПРОСТРАНСТВО, ВРЕМЯ, МАТЕРИЯ“ *

Отдельные части этой книги невольно хочется перечитывать вновь и вновь, ибо каждая ее страница написана необычайно уверенной рукой мастера, досконально изучившего свое дело. Замечательно, что новой областью науки занялся столь выдающийся математик. Он сумел слить воедино математическую строгость и наглядность. Физик сможет ознакомиться по его книге с основами геометрии и теории инвариантов, а математик — с основами теории электричества и гравитации.

Автор исходит из аффинной геометрии, основанной на понятии *параллельного переноса*. Именно из этого понятия выросли понятия вектора и тензора. Вводя фундаментальное понятие метрики (скалярного произведения двух векторов), он приходит к евклидовой геометрии. Тензорное исчисление очень удачно излагается на примерах механики и максвелловской электродинамики, причем последняя излагается особенно изящно и систематично (первая глава).

Вторая глава представляет собой введение в абсолютное дифференциальное исчисление, т. е. в риманову геометрию. Здесь особенно поражает то, как в руках Вейля самые сложные вещи становятся простыми и понятными. Сначала рассматриваются обе «неевклидовы» геометрии, а затем — гауссова теория поверхностей и ее обобщение, данное Риманом на случай многомерных многообразий, которое и составляет формальный базис общей теории относительности. При этом особо отмечаются успехи, достигнутые в последнее время, которыми мы обязаны исследованиям Леви-Чивиты, Вейля и Гессенберга римановского тензора кривизны.

После того, как читатель полностью овладел формальным аппаратом, излагается специальная (в третьей главе) и общая (в четвертой главе) теории относительности, причем специальная на 59, а общая — на 54 стра-

* *Besprechung: Hermann Weyl. Raum — Zeit — Materie. Vorlesungen über allgemeinen Relativitätstheorie. Berlin, Julius Springer, 1918. Naturwiss., 1918, 6. Jahrgang, 373.*

ницах. Здесь особенно наглядно видно, что Вейль не только мастерски владеет математической формой, но и способен глубоко проникать в физическое существо задачи.

Особые заслуги Вейля связаны с интегрированием уравнений гравитационного поля. Содержание последних параграфов показывает, насколько ясно и просто может решить эту задачу *прирожденный* математик. Каждому, кто пожелает сам поработать в этой области, рецензируемая книга окажет неоценимую услугу, не говоря уже о той радости, которую доставит ее изучение.

Для полноты следует упомянуть, что я не совсем согласен с точкой зрения автора по поводу смысла закона сохранения энергии, а также по вопросу о соотношении между утверждениями теоретической физики и действительностью. Кроме того, я хотел бы, чтобы во втором издании был более отчетливо показан физический смысл расстояния между двумя точками (как непосредственного результата измерения с помощью масштабных линеек и часов). Это позволило бы достичь большей полноты изложения с точки зрения физика. Книга предполагает у читателя способность к точному мышлению, но не предполагает никакой особой подготовки. Труд, затраченный на прочтение этой книги, окупится с лихвой, и вряд ли найдется кто-нибудь, кто не почерпнет для себя из нее хоть что-нибудь новое.

Книга Вейля выходила несколько раз. Последнее (пятое) немецкое издание вышло в 1923 г.

ЛЕО АРОНС КАК ФИЗИК *

К нашему глубокому прискорбию, от нас ушел человек, чье скромное величие навсегда останется в памяти тех, кто знал его труды и судьбу: физик Лео Аронс. Гражданские чувства и стремление к справедливости привели его в круг социалистов, заставили его публично выступить в защиту своих социалистических убеждений, несмотря на все препятствия и враждебность, с которыми ему пришлось столкнуться в государстве, руководимом реакционерами. В кругу наших академиков он был одной из тех редких личностей, которые отличаются не только самостоятельностью, но и независимостью характера. Ему были свойственны полное пренебрежение к предрассудкам своей касты и готовность к самопожертвованию. То, что он делал, было для него чем-то самым собой разумеющимся. Свой долг он выполнял скромно, не делая широких жестов и не изображая из себя мученика.

Как физик, не знавший покойного лично и не принадлежавший к числу его сотрудников, я могу судить лишь о тех его научных работах, которые были опубликованы. Непосвященный, глядя на стопку небольших тетрадей, содержащих труд всей жизни физика, даже не подозревает, с каким трудом удастся достичь непритязательных на первый взгляд результатов в столь тонкой области. Физик же видит утешение в том, что полученные им ценой упорных усилий результаты навсегда останутся достоянием науки.

Вся научная деятельность Аронса была в основном посвящена экспериментальному исследованию тех электрических явлений, теория которых была разработана Максвеллом. К этому кругу проблем принадлежит уже его диссертация, защищенная в 1884 г., в которой проводилось точное исследование вращения плоскости поляризации света под действием магнитного поля. В 1888 г. он занялся весьма тщательным исследованием максвелловской теории электрического сопротивления в диэлектриках. В этой работе Аронс показал, что электрическое сопротивление в конденсаторах

* *Leo Arons als Physiker*. Sozialistische Monatshefte, 1919, 52, 1055—1056.

связано с неоднородностями проводимости в диэлектрике. Непреходящее значение имеет и его работа по определению диэлектрической постоянной проводящих жидкостей (часть этой работы была выполнена совместно с Эмилем Кохом). Вместе с Эмилем Кохом в 1888 г. он обнаружил аномально большое значение диэлектрической постоянной воды. Интересно заметить, что Аронс в 1892 г. был первым, кто изобрел ртутную дуговую лампу, имевшую большое практическое и научное значение, например, как источник ультрафиолетового света. Нельзя не упомянуть и некоторые его оригинальные работы по поляризации гальванических элементов. Вместе с Гейнрихом Рубенсом он показал, что для многих диэлектрических жидкостей значение диэлектрической постоянной, полученное из экспериментов с волнами Герца, совпадает со значением диэлектрической постоянной, полученной из статических измерений.

В 1885 г. Аронс с помощью остроумного расчета показал, что уже известный экспериментальный материал подтверждает справедливость формулы Гельмгольца, устанавливающей зависимость между давлением пара раствора и теплотой растворения. Из числа отдельных работ, основанных на случайных удачных находках, упомянем лишь весьма изящный демонстрационный опыт с волнами Герца. Аронс вдоль трубки Гейслера натягивал проволоку, в которой возникали стоячие волны. В том месте, где находились пучности волн, электрическое напряжение заставляло газ в трубке светиться. Свечение газа наглядно показывало распределение переменного электрического поля.

Последняя работа исследователя, которого тяжкий недуг на годы оторвал от лаборатории, относится к 1912 г. Аронс поставил перед собой задачу найти способ численного представления цвета различных тел. Это дало бы возможность экспериментально исследовать окраску различных тел. Именно над этой проблемой упорно работал в последние годы своей жизни Оствальд. Практическая важность подобного исследования очевидна. Если бы такой метод был разработан несколько веков тому назад, мы бы знали сегодня, как первоначально выглядели краски на полотнах великих мастеров прошлых поколений. Для решения проблемы Аронс воспользовался интерференционным методом. Интересовавшая его численная величина однозначно определялась с помощью прибора, состоявшего из кварцевой пластинки соответствующей толщины и поляризатора, установленного под определенным углом, на которые падал дневной свет, отраженный от матово-белой поверхности.

Эти строки могут дать лишь смутное представление о неустанных трудах Аронса. Тихая, незаметная работа ученого, к которой он неуклонно стремился, требовала, по его убеждению, времени и честного отношения. Вечная ему память!

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ В. ПАУЛИ „ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ“ *

Тот, кто будет читать эту зрелую и тщательно продуманную работу, вряд ли поверит, что ее автору всего лишь двадцать один год. Неизвестно, чему следует удивляться больше: глубокому психологическому пониманию хода развития идей, безупречности математических выводов, глубокому проникновению в физическую сущность явлений, способности ясно и систематично излагать предмет, эрудиции, полноте изложения, уверенности критики.

Книга объемом около 230 страниц состоит из следующих частей.

I. Возникновение специальной теории относительности. Особенно подробно излагаются необходимые для обоснования теории относительности экспериментальные факты.

II. Математические методы специальной и общей теории относительности. Специалисту следует особенно рекомендовать раздел, посвященный аффинным тензорам и инфинитезимальным преобразованиям.

III. Дальнейшее обсуждение специальной теории относительности. Изложение проводится с формальной и с физической точек зрения.

IV. Общая теория относительности (75 страниц). Образцовое изложение развития идей. Полное изложение математических методов, необходимых для решения конкретных проблем. Особенно ценным является изложение закона сохранения энергии. Изложение и критика теории Вейля.

Книгу Паули следовало бы рекомендовать каждому, кто творчески работает в области теории относительности, а также тем, кто хочет самостоятельно разобраться в принципиальных вопросах.

Книга В. Паули вышла в русском переводе в 1947 г. В 1958 г. книга издана в американском дополненном издании. Два дополнения к книге опубликованы на русском языке в сб. «Теоретическая физика XX века» (М., 1958).

* *Besprechung: W. Pauli. Relativitätstheorie.* Sonderabdruck aus der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften. Leipzig, B. G. Teubner, 1921, IV, 539—775. Naturwiss., 1922, 10. Jahrgang, 184—185.

ЭМИЛЬ ВАРБУРГ КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬ *

В апреле этого года отошел от руководства Имперским физико-техническим институтом Эмиль Варбург, разносторонне одаренный человек неиссякаемой энергии, плодотворно содействовавший развитию физики на протяжении последних 55 лет. Оправдано ли выделение истории отдельной личности из органически единого здания науки, из картины его целостного развития? Не связана ли его деятельность настолько тесно с работой предшественников и современников, что следует считать случайностью то, что решающий шаг сделан тем или другим человеком? Содержание науки можно постигать и анализировать, не вдаваясь в рассмотрение индивидуального развития ее создателей. Но при таком односторонне объективном изложении отдельные шаги иногда могут казаться случайными удачами. Понимание того, как стали возможными и даже необходимыми эти шаги, достигается лишь в том случае, если проследить за умственным развитием отдельных людей, содействовавших выявлению направления этих шагов. Исходя из этого, попытаемся сделать обзор работ одного из наших современников. При этом мы вынуждены ограничиться только тем, что сегодня представляется особенно важным. Лежащие передо мной четыре объемистых тома оригинальных работ Варбурга касаются различных вопросов физики, не поддающихся необходимому для обзора непринужденному объединению с единой точки зрения. Поэтому в конце данной статьи помещен снабженный отчасти краткими указаниями список работ ¹, который облегчит специалисту использование обширных результатов работ Варбурга.

Первые работы Варбурга (в том числе диссертация 1868 г. на латинском языке) посвящены теоретическому и экспериментальному изучению меха-

* *Emil Warburg als Forscher*. Naturwiss., 1922, 10. Jahrgang, 823—838.

¹ В нашем издании список опущен. — *Прим. ред.*

ники акустических колебаний (колебание стержней; определение скорости звука в мягких телах путем их соединения с системами, совершающими почти незатухающие колебания; обратимые периодические изменения намагниченности железных стержней вследствие колебательных деформаций; нагревание звуковыми колебаниями; затухание тонов в твердых телах из-за внутренних сопротивлений).

В 1870 г. экспериментами над вытеканием ртути из капиллярной трубки Варбург показал, что между ртутью и стеклом нет заметного скольжения. Эта работа послужила Варбургу и А. Кундту естественной отправной точкой для важного совместного исследования, представленного Гельмгольцем в 1875 г. Берлинской академии наук («О трении и теплопроводности разреженных газов»). В то время как в текущей жидкости нет заметного скольжения слоев, прилегающих непосредственно к стенке, кинетическая теория утверждает существование скольжения газов в случае, когда нельзя практически пренебрегать длиной свободного пробега молекул газа по сравнению с размерами рассматриваемого сосуда. Из теории вытекает, что у стенки имеется определенная скорость течения газа на расстоянии до $0,7 \lambda$ (λ — длина свободного пробега в газе).

Следовательно, у стенки происходит неравномерное изменение скорости течения, тем большее, чем больше длина свободного пробега, т. е. меньше плотность газа.

Объяснение этого явления просто. Находящиеся в тепловом движении молекулы до соударения со стенкой сталкиваются между собой в более глубоком слое; следовательно, они обладают средней поступательной скоростью (течением), направленной параллельно стенке сосуда. После удара о стенку они теряют эту скорость. Значит, находящиеся около неподвижной стенки молекулы имеют в среднем отличную от нуля скорость течения (кажущееся скольжение).

Совершенно аналогичным рассуждением можно показать, что если существует падение температуры по нормали к стенке, то между стенкой и газом имеется скачок температуры. Температура газа у стенки должна быть такой же, какой она была бы на расстоянии $0,7 \lambda$ от стенки в отсутствие скачка.

Существование обоих эффектов было доказано экспериментально Кундтом и Варбургом. Это был важный аргумент в пользу того, что кинетическая теория газов соответствует действительности. Это был первый случай, когда на основе молекулярной теории тепла было предсказано новое явление, причем явление, которое нельзя было объяснить с точки зрения континуального понимания материи. Если бы в конце XIX в. энергетики сумели по достоинству оценить эти аргументы, то они вряд ли решились бы всерьез ставить под сомнение глубокие основания молекулярной теории.

Годом позже оба автора нашли еще одно важнейшее экспериментальное подтверждение кинетической теории газов. Они показали, что молекулярная теплоемкость паров ртути равна $\frac{3}{2}R$ (R — газовая постоянная).

Если одноатомные молекулы газа не обладают энергией вращения, т. е. ведут себя как материальные точки, то общая тепловая энергия газа обусловлена только поступательным движением его молекул, а оно, со своей стороны, при заданном объеме однозначно определяет давление. Этому соответствует уравнение:

$$\text{Тепловая энергия} = \frac{3}{2} pV = \frac{3}{2} RT.$$

Подтверждение было получено путем измерения скорости звука по методу Кундта.

Экспериментальные исследования последующих лет (1872—1879) были посвящены изучению внешнего трения и особенно изучению упругих свойств твердых тел, деформированных выше предела упругости. Аналогия с этими работами привела Варбурга к одному из красивейших результатов его творчества, а именно: к доказательству, что циклическое намагничивание ферромагнитных веществ связано с потерей механической и, соответственно, электромагнитной энергии, которая проявляется в гистерезисной теплоте (1881 г.). Он нашел тогда и количественную связь этой потери энергии с площадью кривой гистерезиса. Варбург рассчитал потенциальную энергию постоянного магнита относительно железного образца

$$\Phi = + \int dV \left(\mathbf{J}_x \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \mathbf{J}_y \frac{\partial \Phi}{\partial y} + \mathbf{J}_z \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) = - \int (\mathbf{J} \mathbf{h}) dV,$$

где $\mathbf{J}$ — намагниченность, Φ — потенциал, создаваемый постоянным магнитом, V — элемент объема железного образца. Отсюда следует, что механическая работа dA , совершаемая при бесконечно малом перемещении постоянного магнита, приводящем к приращению $d\Phi$ потенциала Φ при постоянном $\mathbf{J}$, равна:

$$dA = d\Phi_J = - \int (\mathbf{J} d\mathbf{h}) dV.$$

Следовательно, при перемагничивании единицы объема железа совершается механическая работа

$$A = - \int \mathbf{J} d\mathbf{h},$$

где вектор $\mathbf{J}$ теперь необходимо рассматривать как функцию вектора $\mathbf{h}$. Сейчас мы привыкли писать

$$A = + \int \mathbf{h} d\mathbf{J},$$

что для замкнутого цикла намагничивания сводится, разумеется, к тому же.

Так как кинетическая теория дала для газов весьма значительные результаты, стал очень интересным вопрос о том, насколько далеко эти теоретические представления подтверждаются для сильно сжатых газов. Для выяснения этого вопроса Варбург и Бабо (1882 г.) проверили одно из наиболее примечательных, подтвержденных опытом следствий этой теории, а именно: независимость коэффициента трения от плотности. Опыт проводился с углекислотой при высоких плотностях. Оказалось, что с увеличением плотности коэффициент вязкости возрастает, но не более чем на 9%, при повышении плотности в 500 раз по сравнению с нормальной (при атмосферном давлении и обычной температуре). Отсюда вытекает, что основные представления теории газов справедливы и для высоких плотностей. Точного объяснения этого незначительного возрастания мы не имеем. Может быть, оно обусловлено тем, что уменьшение эффективного диаметра молекул в плотных газах, по сравнению с разреженными, объясняется частичной компенсацией молекулярных сил, обязанной разным соседним молекулам.

С 1887 г. работа Варбурга концентрируется на изучении электропроводности газообразных, жидких и твердых тел, на исследовании электродвижущей силы и химических реакций при электрических явлениях в газах. Эти последние исследования позже привели его к тем работам, которые проложили новые пути в фотохимии. При чтении статей по газовому разряду изумляешься обилию тщательных экспериментов, которые тогда еще не направлялись ионной гипотезой. Из множества этих работ я рассмотрю только те, которые мне кажутся особенно важными.

В 1887—1888 гг. Варбург и Тегельмейер нашли, что при нагревании горного хрусталя до 200° он начинает проводить ток как электролит, причем только параллельно, а не перпендикулярно главной оси. Поскольку они вначале применяли электроды из золота, возникла своего рода поляризация большой величины, которая при приложении внешнего напряжения вызывала медленное уменьшение тока. При применении электродов из натриевой амальгамы эта поляризация исчезала. Те исследования, которые важны для изучения твердого агрегатного состояния, были плодотворно продолжены в последние годы Иоффе. В 1890 г. появилась одна работа Варбурга по гальванической поляризации, значение которой до сих пор полностью не оценено. Как известно, Гельмгольц дал теорию капиллярного электрометра Липпмана, основанную на следующих соображениях. На границе раздела ртути — разбавленная серная кислота существует двойной электрический слой, одна обкладка которого находится в металле, а вторая — в электролите. Возникающий при наложении напряжения поляризационный ток меняет плотность в двойном слое так, что поверхность металла в этом явлении играет роль изолятора. Наблюдаемый скачок потенциала на границе электролита с ртутью

состоит из скачка потенциала T_0 (положительного) собственно пограничного слоя и отрицательной разности потенциалов T двойного электрического слоя. Таким образом, по его теории, полная разность потенциалов $T_0 + T$ максимальна, когда T , а следовательно и двойной электрический слой, исчезают. Мы получили бы способ заставить исчезнуть разность потенциалов между ртутью и электролитом и, таким образом, измерить абсолютную разность потенциалов между металлом и электролитом.

Вопреки этому Варбург считал, что большая часть тока поляризации вполне может быть использована для выделения водорода на катоде, а изменение полной разности потенциалов $T_0 + T$ на границе ртути обусловлено изменением поверхности ртути (а значит, и T) под действием выделившегося водорода. Это предположение ведет, конечно, и к другой теории поляризации, отличной от чисто физической теории Гельмгольца. Варбург в нескольких работах обстоятельно обосновал свою точку зрения, и мне кажется, что этим исследованием он проложил новые пути в далеко еще не завершенной области электрохимии пограничных слоев.

С этой проблемой связаны две важные работы Варбурга: о поведении неполяризующихся электродов при переменном токе (1896 г.) и о поляризуемости платины (1901 г.). «Неполяризующимся электродом» является, например, медь относительно раствора CuSO_4 . Сегодня мы характеризуем его тем, что электрическая разность потенциалов между металлом и электролитом в каждый момент времени определяется концентрацией металлических ионов у электрода. Как показал Варбург, в этом случае вся поляризация сводится к ограниченным диффузией изменениям концентрации у катодов вследствие электролиза. Разность фаз между э.д.с. поляризации и током в этом случае намного меньше $\pi/2$ (например, порядка 40°). Иное дело происходит у поляризующихся электродов, например, ртуть — разбавленная серная кислота. В этом случае запаздывание фазы напряжения поляризации относительно тока при высоких частотах переменного тока лишь немного меньше $\pi/2$; электроды ведут себя подобно конденсатору большой емкости. Варбург показал, что этот случай можно объяснить, если предположить, что продукты электролиза, например водород, благодаря электролизу периодически отделяются от электрода (платинового) и растворяются, причем в первом приближении разность потенциалов электрод — электролит зависит от массы отделившегося вещества линейно. Без диффузии отделившегося вещества (например, водорода) в растворе и внутри электрода разность фаз между током и напряжением была бы $\pi/2$; но диффузия несколько уменьшает эту разность. Эти процессы Варбург проанализировал во второй из названных работ.

Многочисленные тонкие исследования химического действия таких электрических разрядов должны быть оценены теми, кто лучше меня может судить о мастерстве тонкой экспериментальной работы. Это относится

и к выполненным Варбургом совместно с физиками Имперского физико-технического института исследованиям по планковской формуле излучения. Кто хочет получить представление о богатом открытиями экспериментальном мастерстве Варбурга, о его критической предусмотрительности и неустанной работоспособности, тот должен изучить его сочинения в оригинале. Но о его фотохимических исследованиях последних лет нужно напомнить, ибо без преувеличения можно сказать, что лишь с них начинается количественная фотохимия. Он совершенно убедительно показал на примере газовых реакций — впервые в 1906 г. на бромистом водороде, — что первичный процесс в восприятии кванта энергии $h\nu$ действующего излучения осуществляется молекулой. Этот первичный процесс поглощения сам по себе еще ничего не значит для последующих химических реакций, которым он лишь поставляет энергию. Поглотившая квант молекула имеет теперь особые возможности для реакции. Она либо спонтанно распадается (при достаточно больших энергиях кванта), а затем продукты распада вступают в реакции с другими молекулами, либо сама вступает в реакцию с другими молекулами. Только в случае, когда эти химические реакции однозначно связаны с поглощением квантов, можно теоретически предвидеть число прореагировавших молекул на каждый квант. Примером может служить случай с HBr , где на каждый поглощенный квант энергии образуется одна молекула H_2 и одна Br_2 . Что это важное подтверждение квантовой теории пришло столь поздно, объясняется, с одной стороны, большими экспериментальными трудностями (измерение поглощенной энергии ультрафиолетового излучения, малость реагирующих количеств газа, достижение необходимой чистоты газов), а с другой стороны — трудностью теоретической интерпретации экспериментальных данных.

Эти строки могут дать лишь слабое представление о деле всей жизни столь многогранного ученого. Но, возможно, некоторые коллеги расположены углубиться в те или иные из его оригинальных работ, приведенных в следующем за статьей указателе². Возможно, что некоторые из этих статей будут встречены лучше, чем те немногие, содержание которых кратко изложено выше.

Русский перевод помещен в сб. «Физика и реальность».

² См. примечание на стр. 47. — Прим. ред.

ПРЕДИСЛОВИЕ К СОБРАНИЮ ТРУДОВ, ВЫПУСКАЕМОМУ ИЗДАТЕЛЬСТВОМ КАИЦОША*

По случаю моего визита в Японию неутомимый руководитель издательства Каицоша подготовил к печати полное собрание моих научных работ, опубликованных до настоящего времени, тем самым сделав их доступными моим японским коллегам и студентам в удобной для них форме. Считаю своим долгом выразить глубокую признательность за проделанную работу господину Ямамото, а также уважаемому коллеге и моему другу Ишихара, взявшему на себя нелегкий труд по переводу моих работ на японский язык. Его имя служит гарантией правильности и точности перевода.

Наша наука прогрессирует так быстро, что оригинальные работы весьма быстро утрачивают то значение, которое придается им сегодня, и оказываются превзойденными новыми работами. С другой стороны, прослеживание процесса становления теории по оригинальным работам само по себе является привлекательным, и нередко такое изучение источников позволяет глубже постичь существо дела, чем систематическое приглаженное изложение современного состояния теории в ее завершенном виде, которое можно найти в работах многих наших современников. Именно поэтому я надеюсь, что предлагаемое вниманию читателя собрание научных трудов обогатит специальную литературу. Я хотел бы обратить особое внимание моих молодых коллег на работы по специальной и общей теории относительности, теории броуновского движения и квантовой теории, опубликованные с 1905 по 1917 год и содержащие идеи, на которые, по моему мнению, до сих пор не обращалось достаточного внимания.

Настоящее издание является первым изданием собрания моих научных работ. То, что оно издается на японском языке, служит для меня еще одним доказательством интенсивности научной жизни и интереса к науке в Япо-

* *Vorwort.* Japanese collected scientific papers of Albert Einstein. 1922.

нии, которую я за эти несколько недель не только высоко оценил как научную державу, но и, что гораздо важнее, научился просто по-человечески любить.

27 декабря 1922 г.

Первое собрание трудов Эйнштейна было опубликовано в 1922—1924 гг. в Японии в четырех томах издательством Каицоса. Это собрание не отмечено в библиографиях трудов Эйнштейна, нет его и в русских собраниях. Сведения о нем можно найти в статье: K l i c k s t e i n. Bibliographies of Einstein (Journal of the Albert Einstein Medical Centre, v. 10. July 1962, p. 142). Эйнштейн посетил Японию в ноябре 1922 г. после выхода в свет первого тома и написал предисловие ко второму. Оно было напечатано на немецком языке и в японском переводе.

Японское собрание содержало статьи, относящиеся к 1901—1922 гг. План собрания был близок к русскому. Том I содержит статьи по специальной теории относительности, том II — по общей теории относительности, том III посвящен молекулам, электронам и квантовой механике; том IV содержит несколько пропущенных статей, популярные лекции и очерки (11 статей). Третий том пострадал от катастрофического землетрясения (1 сентября 1923 г.); в нем по плану должно было быть 45 статей, но 14 статей по квантовой механике пришлось изъять по техническим причинам. Статьи были переведены Ямадо Мицуо, Эндо Мицутосе, Аве Йошио и Ишихара Юн. Ямамото Минури был одним из руководителей издательства.

Собрание содержало статью Ишихара Юн и комментарии.

В японское издание были включены следующие статьи (том и порядковый номер статьи даются по нашему Собранию):

Т. 1, статьи 1—3, 5—12, 14—19, 21—26, 28, 29, 32, 34, 36, 37, 39, 41, 42, 44, 45, 47—51, 53—55, 57, 59;

Т. 2, статьи 60, 61, 64, 66, 67;

Т. 3, статьи 1—6, 8, 9, 13—16, 22, 24, 25, 28, 39, 42, 47, 51.

О СОВРЕМЕННОМ КРИЗИСЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ *

Цель теоретической физики состоит в том, чтобы создать систему понятий, основанную на возможно меньшем числе логически независимых гипотез, которая позволила бы установить причинную взаимосвязь всего комплекса физических процессов. На вопрос о том, как возникает и развивается эта научная система, во времена Максвелла можно было бы получить следующий ответ.

Незыблемый базис точных наук, а именно: геометрии и анализа, образуют невызывающие сомнений данные чувственного восприятия или мышления. Этот базис был установлен еще древними греками, и тем, кто жил во времена более поздние, не пришлось создавать ничего принципиально нового, если не считать исчисления бесконечно малых. Затем Галилей, Ньютон и их современники установили подлинные физические законы, открыв основные законы механики. Вплоть до конца XIX века физики были убеждены в том, что эти основные законы механики вообще должны составлять базис всей теоретической физики, т. е. что каждая физическая теория в конечном счете должна сводиться к механике.

Таким образом, сложилось представление о том, что основы физики окончательно установлены, а работа физика-теоретика должна состоять в том, чтобы с помощью специализации и дифференциации теории приводить ее в соответствие со все возрастающим изобилием исследованных явлений.

О том, что может возникнуть потребность в коренной перестройке фундамента всей физики, никто не думал. После исследований Фарадея и Максвелла постепенно стало ясно, что основы механики находятся в противоречии с электромагнитными явлениями. Такое изменение в воззрениях физиков прошло в своем развитии несколько этапов. Сначала оба названных выше создателя новой теории осознали, что электромагнитные явления нельзя описать с помощью теории сил, мгновенно оказывающих свое действие на расстоянии.

* *Über die gegenwärtige Krise in der theoretischen Physik.* Kaizo, 1922, 4, No 22, 1=8.

Согласно Ньютону, все силы, способные вызывать ускорение материальных точек, можно свести к мгновенно распространяющемуся действию каких-то других материальных точек, одна из которых и оказывает воздействие на рассматриваемую материальную точку. Максвелл и Фарадей противопоставили этой теории непосредственного дальнего действия теорию электромагнитного поля. Согласно этой теории, распространение электромагнитных сил связано не с мгновенным дальним действием, а с некоторым состоянием пространства (эфира, электромагнитного поля), способного передавать действие этой силы. Наряду с движущимися материальными точками, которые в соответствии с теорией Ньютона были единственными носителями энергии, поле, наделенное энергией и описываемое непрерывными функциями пространственных координат, в новой теории выступает как физическая реальность. Известно, что всеобщему признанию этой теории немало способствовали эксперименты Герца по распространению электрических сил.

Вначале физики еще не отдавали себе полного отчета в революционизирующем характере теории поля. Сам Максвелл еще был убежден в том, что электродинамические процессы можно рассматривать как движения эфира, и даже использовал механику при выводе уравнений поля. Однако со временем стали все более отчетливо понимать, что сведение уравнений электромагнитного поля к уравнениям механики невозможно. В этих условиях стремление к созданию единого фундамента всей физики заставило изменить подход к проблеме на прямо противоположный и сводить уравнения механики к электромагнитным уравнениям. Это стремление стало еще сильнее после того, как Дж. Дж. Томсон открыл, что существует электромагнитная инерция электрически заряженных тел, а Абрагам показал, что инерция электронов допускает чисто электромагнитное толкование. Сведение инерции к электромагнитным процессам означало полный переворот в основах физики, по крайней мере в принципиальном отношении. Место материальной точки как элемента реальности заняло электромагнитное поле. Оно стало фундаментальным понятием во всех построениях теоретической физики. Общеизвестно, что теоретическое построение материи на чисто электромагнитной основе удастся провести лишь до известной степени. В частности, нам известно в настоящее время, что силы сцепления имеют чисто электромагнитную природу.

Сказанное отнюдь не исчерпывает всех результатов теории поля Фарадея — Максвелла. Открытие ковариантности электромагнитных уравнений Максвелла относительно преобразований Лоренца привело к специальной теории относительности и тем самым к открытию эквивалентности инерции и энергии, к распространению теории относительности на гравитационное поле и (с учетом равенства инертной и тяжелой масс) тем самым к общей теории относительности. С возникновением общей теории относи-

тельности пал оплот ньютоновской теории, о котором прежде думали, что он должен служить фундаментом любой науки о природе, а именно: эвклидова геометрия. Вдревности эта наука возникла в результате примитивных экспериментов над твердыми телами. Веские соображения, косвенно связанные с экспериментом, вынудили физиков, молчаливо предполагавших, что эвклидова геометрия описывает законы взаимного расположения твердых тел, движущихся с не слишком большими скоростями и не подверженных внешним воздействиям, заменить эвклидову геометрию более общей теорией, созданной еще Гауссом и Риманом. Казалось, что с возникновением общей теории относительности завершилась фаза развития теоретической физики, основу которой заложили Фарадей и Максвелл.

В последние два десятилетия выяснилось, что и тот фундамент физики, который был построен с привлечением теории поля Фарадея — Максвелла, так же, как и основанная на нем механика, не может противостоять натиску новых экспериментальных данных. Более того, следует ожидать, что прогресс науки вызовет такой переворот в ее основах, который окажется не менее глубоким, чем переворот, связанный с теорией поля. Однако до логически ясного фундамента нам еще очень далеко, и пока приходится довольствоваться выяснением того, в какой мере ныне существующие основы недостаточны и насколько обоснованной можно считать успешную, но все же носящую лишь предварительный характер, попытку построения теории важного класса физических явлений, известную под названием «квантовой теории».

Квантовая теория берет свое начало из теории теплового излучения, где объединение механики с теорией электромагнитного поля приводит к противоречию с опытом и даже к внутренне противоречивым результатам. Основную проблему теплового излучения можно было бы сформулировать следующим образом. Термодинамика учит, что в полости, расположенной внутри непрозрачного тела, имеющего температуру T , имеется излучение, состав которого совершенно не зависит от природы тела, образующего стенки полости. Если ρ — плотность монохроматического излучения (т. е. $\rho d\nu$ — энергия излучения в полости, приходящаяся на единицу объема в интервале частот между ν и $d\nu$), то ρ является вполне определенной функцией ν и T . Эту функцию нельзя найти с помощью чисто термодинамических соображений. Более того, явный вид этой функции можно получить лишь в том случае, если известна природа процессов испускания и поглощения излучения.

Классическая механика вместе с электродинамикой Максвелла приводит к следующему выражению для ρ :

$$\rho = \alpha \nu^3 T, \quad (1)$$

которое непригодно хотя бы потому, что приводит к бесконечно большому

значению полной плотности излучения в полости

$$\int_{\nu=0}^{\nu=\infty} \rho d\nu.$$

Планк нашел выражение, находящееся в удовлетворительном согласии со всеми известными до сих пор экспериментами:

$$\rho = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (2)$$

где h — постоянная, зависящая от абсолютных размеров атома, а h означает мировую постоянную, ранее не известную в физике, которую можно было бы охарактеризовать как фундаментальную постоянную квантовой теории. В 1900 г. Планк предложил теоретический вывод этой формулы, содержащий в неявном виде гипотезу, несовместимую со взглядами, господствовавшими в физике того времени. Впоследствии эта гипотеза была экспериментально и теоретически подтверждена исследованиями, проводившимися в течение двух последних десятилетий. Где бы ни происходил в природе синусоидальный колебательный процесс с частотой ν , его энергия всегда принимает значения, равные целым кратным $h\nu$. Промежуточные значения энергии синусоидального колебательного процесса в природе не встречаются.

На основании этой гипотезы удастся не только вывести формулу (2) излучения Планка, но и получить закон изменения удельной теплоемкости кристаллических твердых тел с температурой. Однако вывод всех этих формул внутренне противоречив, ибо использует наряду с новой гипотезой несовместимые с ней основания классической физики.

Если учесть крупные успехи электродинамики Максвелла и механики Ньютона и то, что на сегодняшний день мы не можем обойтись без этих теорий, то станет ясно, почему основную гипотезу квантовой теории следует по возможности ставить под сомнение. Имеются, однако, такие явления, которые, с одной стороны, непосредственно подтверждают квантовую теорию, а с другой, — недвусмысленно показывают ее несовместимость с основаниями классической физики.

Согласно максвелловской теории, плотность энергии излучения, испускаемого некоторым источником, меняется обратно пропорционально квадрату расстояния. Следовательно, энергия, поглощаемая в единицу времени данной площадкой, с увеличением расстояния неограниченно убывает. Так как для химического разложения молекулы или для выбивания электрона из атома требуется определенная энергия, то излучение, значительно ослабленное за счет достаточного удаления от источника света, не сможет вызывать такой химический процесс. Однако вопреки

сказанному эксперимент показывает, что химическое и фотоэлектрическое действие излучения совсем не зависит от его плотности. Химическое действие излучения, проходящего через вещество, зависит только от полной энергии излучения, а не от плотности его пространственного распределения. Кроме того, из экспериментов Э. Варбурга стало известно, что энергия, поглощаемая при элементарном химическом процессе, всегда равна $h\nu$, независимо от того, как распределена в пространстве энергия излучения. Этот результат следует также и из экспериментов с фотоэлектрическим эффектом и испусканием катодных лучей под действием рентгеновского излучения.

В настоящее время мы знаем, что эта энергия берется непосредственно из излучения, а не накапливается постепенно. Поглощение света происходит отдельными элементарными актами, а при каждом из них полностью поглощается энергия $h\nu$. Подробности этих элементарных процессов нам неизвестны. Если бы об излучении нам были известны лишь его энергетические свойства, то пришлось бы, по-видимому, создать своего рода молекулярную теорию излучения в духе ньютоновской теории испускания света. Однако объяснение явлений дифракции и интерференции на основе такой теории наталкивается на непреодолимые трудности. Кроме того, по-видимому, можно считать, что полевая теория излучения неверна отнюдь не в большей степени, чем теория упругих волн в твердых телах, обуславливающих теплоемкость последних. Обе теории в равной мере находятся в противоречии с квантовой теорией и обе приходится комбинировать с последней, чтобы получить результаты, согласующиеся с экспериментом.

Быстрый рост наших знаний о строении атома, которым мы особенно обязаны великим ученым Резерфорду и Бору, привел к весьма значительному обобщению квантовой теории, на котором мы сейчас и остановимся. Еще до теории Резерфорда — Бора было высказано предположение о том, что поглощение (испускание) излучения, соответствующего некоторой спектральной линии, атомом или молекулой должно отвечать их переходу из одного состояния в другое. Поскольку состояние атома нельзя было, разумеется, описывать синусоидальными колебаниями, возникла проблема обобщения квантовой теории на случай произвольной механической системы. Эту задачу удалось постепенно решить Бору, Зоммерфельду, Эпштейну и Шварцшильду. Результаты, полученные этими исследователями, были полностью подтверждены спектроскопическими данными и не вызывают никаких сомнений.

Если некоторую механическую систему можно описывать, задавая ее координаты q , периодически зависящие от времени, то для каждой степени свободы q импульс p_q , соответствующий координате q ,
$$p_q = \frac{\partial L(p, q)}{\partial \dot{q}_q},$$

можно представить в виде функции, зависящей только от координаты q_v . Таким образом, интеграл

$$\int p_v dq_v,$$

взятый по одному периоду, при каждом v будет целым кратным постоянной Планка h . Тем самым состояния, «допускаемые» квантовой теорией, оказываются определенными для так называемых «квазипериодических» систем. Общее правило нашло свое подтверждение в тонких и разнообразных частных случаях (например, в теории эффекта Штарка, предложенной Эпштейном); поэтому то, что оно в целом правильно, по-видимому, не вызывает сомнений.

С общетеоретической точки зрения особенно удивительно следующее. С одной стороны, как уже отмечалось, нельзя считать, что механика удовлетворительна, так как основанная на ней статистическая механика приводит к результатам, противоречащим опыту (например, удельная теплоемкость твердых тел). С другой стороны, в области применимости упоминавшегося выше правила законы механики поразительным образом подтверждаются. Может быть, в природе происходят только квазипериодические элементарные процессы или, если говорить в более общих терминах, встречаются только такие механические системы, которые имеют столько однозначных интегралов, сколько у них есть степеней свободы? Если принять во внимание кинетическую теорию газов, то подобная идея покажется абсурдной. Вопрос о том, в какой мере требования квантовой теории ограничивают сферу действия классической механики (и электродинамики), сегодня так же, как и 15 лет назад, покрыт мраком.

Неоднократно высказывалось мнение, что законы природы вряд ли можно записывать с помощью дифференциальных уравнений. В самом деле, в соответствии с только что сформулированным квантовым правилом мы должны рассматривать весь цикл движения системы, чтобы иметь возможность ответить на вопрос, допустимо ли с точки зрения квантовой теории данное состояние системы или нет. Чтобы действительно обосновать квантовые соотношения, по-видимому, необходим новый математический язык. Во всяком случае запись законов природы в виде комбинации дифференциальных уравнений и интегральных условий, как мы делаем сегодня, противоречит здравому смыслу. Основы теоретической физики вновь потрясены, и опыт требует, чтобы мы нашли способ для выражения закономерностей на новом, более высоком уровне. Когда же суждено появиться новой идее? Счастлив тот, кто доживет до того времени и сможет это увидеть.

Статья в японской газете «Кайзо» была опубликована в связи с пребыванием Эйнштейна в Японии (ноябрь 1922 — февраль 1923 г.).

ПРЕДИСЛОВИЕ К НЕМЕЦКОМУ ИЗДАНИЮ КНИГИ ЛУКРЕЦИЯ „О ПРИРОДЕ ВЕЩЕЙ“ * 1

Книга Лукреция окажет чарующее действие на каждого, кто еще не покорен окончательно духом нашего времени, кто чувствует себя способным со стороны взглянуть на современность и оценить духовные достижения современников. Мы узнаем, как представлял себе мир мыслящий человек, интересовавшийся естествознанием, — человек, одаренный живым чувством и способностью мыслить, но не имевший никакого понятия о тех достижениях современного естествознания, которые нам сообщаются в детском возрасте, еще тогда, когда мы не в состоянии ни осознать их, ни критически противостоять им.

Глубокое впечатление должна оставить твердая уверенность Лукреция, верного ученика Демокрита и Эпикура, в познаваемости и, соответственно, причинной зависимости всего сущего. Приписывая атомам лишь геометрико-механические свойства, он не только совершенно убежден в возможности объяснения всего происходящего в мире на основе движения неизменяемых атомов, подчиняющегося определенным законам, но даже думает, что может обосновать это утверждение. Как явления жизни, так и воспринимаемые чувствами тепло, холод, цвет, запах, вкус сводятся к движениям атомов. Душу и ум он представляет себе состоящими из особо легких атомов; будучи последовательным, он сопоставлял определенные переживания с различными свойствами материи.

Освобождение человека от насаждаемого религией и суевериями рабского страха, поддерживаемого и используемого священниками, — вот главная цель работы Лукреция. Это — нешуточное дело. Но скорее всего им руководила потребность убедить своих читателей в необходимости приня-

* *Geleitwort*. T. Lucretius Carus. De rerum natura. Berlin, Ed. H. Diels, Ed. II.

¹ Издание вышло в двух томах. В первом томе воспроизведен латинский текст, во втором дан немецкий перевод, к которому и написано предисловие Эйнштейна. — *Прим. ред.*

тия механической атомистической картины мира, хотя он и не рискнул высказать это открыто склонным к практицизму римлянам. Трогательно его уважение к Эпикуру и вообще к греческой культуре и греческому языку; он их ставил значительно выше латинских. То, что такие вещи можно было тогда высказать, следует поставить римлянам в заслугу. Где бы современная нация, которая питала бы столь благородные чувства к другой современной ей нации и высказывала бы их?

Стихи Дильса (переводчик.— *Ред.*) читаются легко. Невольно забываешь, что перед тобой перевод.

Берлин, июнь 1924 г.

Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

К СТОЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ЛОРДА КЕЛЬВИНА * (26 июня 1824 г.)

Все физики знают и любят В. Томсона (лорда Кельвина) как одного из наиболее сильных и плодотворных мыслителей XIX столетия, как основателя теоретической школы, из которой вышел гениальнейший теоретик нового времени К. Максвелл. Одаренный богатой фантазией, редким умением применять математический аппарат и пронзительным умом, Томсон около 60 лет участвовал в развитии физики и различных отраслей техники, добыв множество результатов, сохранивших свое значение до сего дняшнего дня; немногие ученые были столь плодотворны.

Наиболее существенный вклад Томсона в развитие физики — это основания термодинамики. Эта работа была выполнена одновременно с Клаузиусом; они плодотворно влияли друг на друга. В возрасте 23 лет Томсон вводит одно из фундаментальнейших понятий физики — абсолютную температуру, без которой сегодня мы не можем себе представить эту науку.

Обилие результатов, которыми мы обязаны Томсону в области учения о теплоте, гидродинамики, учения об электричестве, навигации, физической географии и измерительной техники, совершенно необозримо. Изыщество метода всегда доставляет читателю огромное наслаждение. Воспоминания об организационных и играющих не последнюю роль материальных результатах позволяют признать его долгую и богатую жизнь блестящей. И все-таки в деятельности этого высокого ума есть нечто трагическое.

Фундаментом для всего творчества Томсона была механика Ньютона. Этот стремящийся к единству познания ум глубоко верил, что сущность всех физических явлений сводится к движению и что механика Ньютона дает, в конце концов, ключ к пониманию всего происходящего. Верный этому убеждению, призвав все свои творческие силы, он на протяжении

* *Zum hundertjährigen Gedenktage von Lord Kelvins Geburt. Naturwiss., 1924, 12, 601—602.*

многих десятилетий пытался создать механическую теорию атомистики и электромагнитных явлений. Но открытия в конце его жизни рентгеновы лучи и радиоактивные явления показали, что все его усилия в этом направлении напрасны, а основное его убеждение ошибочно. Начался период неопределенности и изменчивости основ физики; этому периоду еще и сегодня не видно конца. Если бы Томсону, которому эти основы физического познания почти до конца жизни казались незыблемыми, удалось бы вдруг ознакомиться с нашей современной литературой, он бы ужаснулся.

Вместо того, чтобы пытаться охватить все работы Томсона, я лучше покажу четкость его исследовательской мысли на нескольких примерах, которые меня в свое время особенно восхитили.

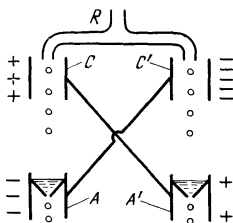


Рис. 1. Установка для получения электростатических зарядов с помощью капель воды

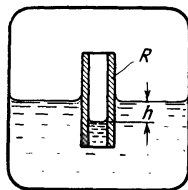


Рис. 2. Влияние кривизны поверхности жидкости в капиллярах на давление паров

Установка для получения электростатических зарядов с помощью капель воды. Из заземленной наполненной водой трубки R (рис. 1) вытекают две струи, которые внутри пустотелых изолированных металлических цилиндров C и C' разбиваются на капли. Эти капли падают в изолированные подставки A и A' со вставленными воронками. Цилиндр C соединен проводником с A' , а C' с A . Если C заряжен положительно, то образующиеся внутри C капли заряжаются отрицательно и отдают свой заряд A , заряжая тем самым C' отрицательно. Из-за отрицательного заряда C' образующиеся внутри него водяные капли получают положительный заряд и разряжаются в A' , увеличивая его положительный заряд. Заряд C , A' и C' , A возрастает до тех пор, пока изоляция препятствует проскакиванию искры.

Влияние кривизны поверхности жидкости в капиллярах на давление пара. Капиллярная трубка с внутренним радиусом R (рис. 2) погружена, например, в несмачивающую жидкость. При равновесии в трубочке

устанавливается капиллярное понижение уровня

$$h = \frac{2\sigma}{R\rho g},$$

где σ — капиллярная постоянная, ρ — плотность жидкости, g — ускорение силы тяжести.

Если обозначить плотность пара через ρ_0 (последняя мала по сравнению с ρ), то в пространстве над свободной поверхностью жидкости будет существовать избыточное давление

$$\Delta p = \rho_0 g h = \frac{2\sigma}{R} \frac{\rho_0}{\rho}.$$

Этот результат справедлив независимо от того, какими причинами обусловлено возникновение кривизны поверхности.

Доказательство теоремы Гельмгольца о вихрях. Пусть L — замкнутая кривая. Движению жидкости, в которой отсутствует трение, отвечает скорость, имеющая компоненты u_ν . Тогда, по теореме Стокса, линейный интеграл

$$W = \int_L \sum u_\nu d\lambda_\nu$$

(u_1, u_2, u_3 — компоненты скорости, x_1, x_2, x_3 — координаты) равен поверхностному интегралу от вектора вихря по произвольной поверхности, натянутой на L . Зададимся вопросом о временной зависимости величины вихря W при условии, что кривая участвует в течении жидкости. Обозначив относящуюся к отдельной частице жидкости производную по времени через $\frac{D}{Dt}$, а соответствующий дифференциал — через D , имеем для произвольной величины ψ

$$\frac{D\psi}{Dt} = \frac{\partial\psi}{\partial t} + \sum u_\nu \frac{\partial\psi}{\partial x_\nu}.$$

Если предположить, что плотность жидкости ρ является функцией только давления, а внешние силы однозначно определяются потенциалом Φ , т. е. положить, что $\pi = \int \frac{dp}{\rho}$, то эйлеровы уравнения движения жидкости дадут

$$\frac{Du_\nu}{Dt} = -\frac{\partial\pi}{\partial x_\nu} - \frac{\partial\Phi}{\partial x_\nu}.$$

Тогда

$$Du_v = -dt \frac{\partial (\pi + \varphi)}{\partial x_v} \text{ и } Ddx_v = dt \sum \frac{\partial u_v}{\partial x_\alpha} dx_\alpha.$$

Отсюда следует, что

$$DW = \int \sum (Du_v dx_v + u_v Ddx_v) = dt \int \sum dx_v \frac{\partial}{\partial x_v} \left(-\pi - \varphi + \sum \frac{u_\alpha^2}{2} \right) = 0.$$

В этом результате $DW = 0$ содержатся теоремы Гельмгольца о вихрях.

По случаю столетия со дня рождения В. Томсона мы с благодарностью вспоминаем этого мастера; будем надеяться, что когда-нибудь удастся охватить достижения физики нашего времени столь же просто и наглядно, как мы это видим у него.

Русский перевод помещен в сб. «Физика и реальность».

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ И. ВИНТЕРНИТЦА „ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И ТЕОРИЯ ПОЗНАНИЯ“ *

У философов недостаток творческих способностей часто проявляется в том, что они не излагают свой предмет систематически, исходя из собственной точки зрения, а, наоборот, заимствуют готовые утверждения у других авторов и лишь пытаются их критиковать или комментировать. Однако автор, уверенный в своих силах, сам воюет со своим предметом, систематически излагает его, а результаты собственного анализа сравнивает с положениями, выдвигаемыми другими авторами, лишь после того, как он самостоятельно выработал и провел в жизнь свою точку зрения.

Автор рецензируемой книги в этом смысле принадлежит к числу самостоятельных авторов, способных развить собственную точку зрения, и обладает при этом глубоким знанием предмета как с физической, так и с философской стороны. Будучи по своей философской позиции близок к Шлику и Рейхенбаху, он, насколько мне известно, был единственным, кто сумел полностью воздать должное Канту, не утратив под влиянием последнего самостоятельности. Я позволю себе выделить из общего контекста следующие утверждения, дающие представление о позиции автора по отношению к Канту, с одной стороны, и по отношению к эмпирикам — с другой.

«Необходимо еще раз подчеркнуть назло всем эмпирикам, для которых Кант никогда не существовал, что природа не является чем-то таким, что дает «опыт», а представляет собой некоторую систему, создаваемую мышлением на основе его собственных принципов из отдельных опытных фактов, самих по себе незначительных и бессвязных». «Характерные свойства протяженности, пространственного упорядочения и движения, которые мы различаем точно так же, как различаем оттенки цвета, ничем, разумеется, не лучше последних. Однако, поскольку систему законов, которой с необходимостью удовлетворяют данные непо-

* *Besprechung: J. Winternitz. Relativitätstheorie und Erkenntnislehre.* Leipzig, B. G. Teubner, 1923. Dtsch. Literaturzeitung, 1924, 1 (45), 20—22.

средственного опыта (в смысле Маха), мы строим из фундаментальных математических понятий, далеких от этого мира непосредственного восприятия, в частности, из понятия переменных, описывающих пространственно-временное упорядочение, мы в результате приходим к науке о природе, которая занимается не только регистрацией, описанием и классификацией фактов». «Априори означает..., что необходимость подобных принципов следует возвести в основной принцип теории познания...» Далее следует утверждение о том, что можно указать по крайней мере один такой принцип, а именно: принцип «причинности».

Итак, Винтернитц вместе с Кантом утверждает, что наука является некоторой системой, созданной мышлением на основе априорных принципов. То, что здание нашей науки покоится и должно покоиться на принципах, которые сами не вытекают из опыта, конечно, нужно принять без всяких сомнений. Однако у меня возникают сомнения, когда встает вопрос о значении этих принципов или об их незаменимости. Можно ли считать, что по крайней мере часть этих принципов устроена так, что наука несовместима с любым их изменением или же они являются чистой условностью, вроде принципа расположения слов в словаре? Винтернитц склонен считать, что верна первая точка зрения, я же считаю верной вторую. Критические замечания Винтернитца по поводу идей Канта о пространстве и времени мне кажутся очень меткими.

Благодаря четкости изложения, достойной всяческих похвал, автору удалось всесторонне рассмотреть предмет на 230 страницах, о чем свидетельствует следующее оглавление: I. Вводные замечания о задачах, методах и границах естественных наук. II. Смысл относительности пространства и времени. III. Абсолютное пространство в физике. IV. Основные идеи специальной теории относительности Эйнштейна. V. Четырехмерное пространство. VI. Упорядочение во времени и причинная связь. VII. Геометрия и опыт. VIII. Геометрия как физическая гипотеза. IX. Общая теория относительности и гравитация. X. Время, пространство и причинность в общей теории относительности. XI. Теория относительности и борьба различных школ.

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ МАКСА ПЛАНКА „ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ“ *

Книга Планка представляет собой ясное и последовательное введение в проблемы теории излучения и теории квантов, чтение которой доставляет даже «посвященному» большое эстетическое удовольствие.

В первой части книги рассматриваются основные понятия и теоремы, по существу опирающиеся на термодинамику: закон Кирхгофа об испускательной и поглощательной способности тела, закон Стефана — Больцмана о зависимости полной интенсивности излучения от температуры и закон смещения Вина. Вторая часть книги основана на принципе Больцмана и квантовой теории. В ней ясно показаны не только различия, но и глубокие аналогии между соотношениями, полученными в обеих теориях (классической и квантовой). Сначала излагается принцип Больцмана, в основе которого лежит понятие числа комплексий. Таким образом, учет бесконечно малых и конечных деформаций элементарных областей позволяет с самого начала рассматривать и классическую и квантовую теории. Механика используется только в той мере, в которой она с помощью теоремы Лиувилля объясняет равенство объемов элементарных областей в фазовом пространстве. Таким образом, теорема Больцмана о среднем числе частиц, приходящихся на единицу объема, которая является основой всей статистической теории теплоты, основывается только на принципе Больцмана, связывающем энтропию и вероятность. Тем самым подчеркивается роль этого принципа, выходящая за рамки одной лишь механики.

Наиболее важная часть книги (стр. 143—192) посвящена выводу планковской формулы излучения. Ход рассуждений здесь следующий. Статистика материальных частиц определяется формулой распределения Больцмана. Черное излучение характеризуется тем, что оно находится в статистическом равновесии с этими частицами. На стр. 143—169 пока-

* *Besprechung: M. Planck. Wärmestrahlung. Dtsch. [Literaturzeitung, 1924, 1 (45), 1153—1154.*

зано, что, если распределение Больцмана применять к бесконечно малым элементарным областям и считать, что взаимодействие между материальными частицами и излучением подчиняется законам механики и электродинамики, то в результате мы придем к предельному случаю, описываемому формулой Джинса. Напротив, если применять формулу Больцмана к конечным элементарным областям и постулировать, что статистические законы при рассмотрении взаимодействия между материальными частицами и излучением подчиняются определенным статистическим законам, то мы придем к планковскому закону излучения. Вводимые при этом постулаты ввиду их простоты, с одной стороны, и аналогии с соответствующими соотношениями в классической теории — с другой, по-видимому, можно считать в достаточной мере обоснованными.

В последнем разделе книги, в связи с ранее полученными соотношениями, рассматриваются некоторые важные проблемы квантовой теории: полость с излучением как самостоятельная квантовая система, энтропийная константа газов, удельная теплоемкость твердого тела.

На русский язык переведено 5-е издание книги М. Планка «Теория теплового излучения» (Л.—М., 1935).

В. Г. ЮЛИУС*
(1860—1925)

В лице В. Г. Юлиуса мы потеряли одного из наиболее оригинальных исследователей в области физики Солнца. Памяти своего старого друга я и посвящаю эти несколько строк. Они написаны в надежде, что его идеи о необходимости учета рефракции при объяснении различных явлений, происходящих на Солнце, со временем не будут забыты.

Юлиус начал изучать математику и физику в Утрехтском университете в 1879 г. Основные его интересы лежали в области экспериментальной физики. До тридцати одного года он занимался в основном изучением испускания и поглощения света в газах. Работа А. Шмидта «Преломление света на Солнце; геометрические замечания к физике Солнца», появившаяся в 1891 г., привлекла внимание Юлиуса к физике Солнца, которой он и занимался затем всю свою жизнь.

Юлиус не разделял взглядов А. Шмидта, согласно которым резкость края Солнца обусловлена рефракцией за счет радиального градиента плотности, поскольку ясно сознавал, что рассеяние и поглощение во внешних слоях Солнца неизбежно искажают ход лучей. По теории же Шмидта лучи должны были распространяться прямолинейно. Юлиус пришел к убеждению, что такие явления на Солнце, как распределение видимой яркости Солнца и скорость, с которой изменяется это распределение, трудно поддающиеся объяснению, если приписывать их только испусканию и поглощению света и движению Солнца, объясняются отклонениями от прямолинейного распространения света.

Чтобы по достоинству оценить взгляды В. Г. Юлиуса, мы должны поставить вопрос о том, каковы скорости, достигаемые материей во внешних слоях Солнца. Наблюдения не дают прямого ответа на этот вопрос. Априори можно усомниться в том, что движение материи является единственной причиной любого смещения центра интенсивности спектральной линии и любого перемещения ярких мест на солнечном диске. По Юлиусу, един-

* W. H. Julius (1860—1925). *Astrophys. Journal*, 1926, 63, No 3, 196—198.

ственными явлениями, позволяющими непосредственно измерить скорости материи на поверхности Солнца, являются солнечные пятна. С помощью Зееман-эффекта Хейл обнаружил, что солнечные пятна представляют собой вихри. Поскольку известные теоремы гидродинамики показывают, что вещество, из которого состоит вихрь, движется вместе с ним, относительную скорость пятен можно принять за скорость материи. Полученные при этом скорости составляют в среднем $0,15 \text{ км/сек}$ и никогда не превосходят $0,4 \text{ км/сек}$. Отсюда Юлиус заключил, и я совершенно с ним согласен, что при объяснении явлений, происходящих на Солнце, мы не можем ссылаться на существенно большие скорости.

Например, если ядра гранул движутся со скоростями от 3 до 4 км/сек, то, следовательно, гранулы нельзя считать веществом, движущимся с такими скоростями. Юлиус считал, что гранулы являются продуктом совместного действия локальных вариаций плотности солнечной атмосферы и различного изгибания лучей при прохождении фотосферы. Скорости гранул — это скорости волн сжатия, которые и в самом деле имеют указанный порядок.

Распределение интенсивности в солнечных пятнах Юлиус пытался точно так же объяснить (по крайней мере частично) рефракцией за счет фотосферы. В подтверждение своих взглядов он среди прочего приводил наблюдение Маундера, согласно которому на восточной половине солнечного диска имеется гораздо больше пятен, чем на западной. Юлиус объяснял это парадоксальное открытие искажениями вихря, вызванными неравномерностью (по широте и глубине) вращения Солнца. Центр вихря обгоняет остальную его часть и, таким образом, наклоняет его ось под различными углами к лучу зрения. Рефракция особенно заметна, когда эти углы малы.

Протуберанцы и хромосферу Юлиус также пытался объяснить вариациями плотности (градиентами), встречающимися во внешней части солнечной атмосферы. Поперечное движение, замеченное в протуберанцах, со скоростями порядка нескольких сотен километров в секунду он объяснял небольшими перемещениями градиентов плотности. Он считал, что свет испускается хромосферой и претерпевает сильную рефракцию вблизи линии поглощения.

Особенно важными я считаю взгляды Юлиуса на происхождение линий Фраунгофера. Наблюдаемые экспериментально линии оказываются гораздо более широкими, чем линии поглощения с учетом поправки на эффект Доплера. Уширение линий объясняется молекулярным рассеянием и (главным образом) аномальной рефракцией в неодинаковых по своим свойствам слоях газа. Из-за большого преломления вблизи линии поглощения вещества аномальная рефракция должна так же ограничивать испускательную способность, как и молекулярное рассеяние. Но в отличие

от последнего аномальная рефракция обуславливает асимметричное уширение линий. Таким образом, Юлиус сумел объяснить сдвиги линий. Попытка приписать их появление эффекту Доплера привела бы к невероятно большим скоростям, причем для разных линий скорость была бы различной. Аналогичным образом Юлиус сумел объяснить, почему красное смещение, наблюдаемое в центре солнечного диска, отличается от красного смещения вблизи его края. Юлиус считал, что точно так же следует объяснять любые наблюдаемые красные смещения линий, и поэтому придерживался мнения, что сдвига, требуемого теорией относительности, не существует.

Я недостаточно компетентен, чтобы по достоинству оценить все богатство идей Юлиуса, но уверен, что они заслуживают самого тщательного рассмотрения. В особенности их следует принимать во внимание при построении теории смещения спектральных линий. Эти немногочисленные замечания достигли своей цели, если они помогли обратить еще раз внимание физиков на работы этого человека, обладавшего ясным взглядом на вещи и артистически тонкой душой.

Лейден, 14 декабря 1925 г.

ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ИЗВИЛИН В РУСЛАХ РЕК И ТАК НАЗЫВАЕМЫЙ ЗАКОН БЭРА*

Общеизвестно, что русла рек имеют тенденцию приобретать извилистую форму, вместо того чтобы следовать линии максимального уклона местности. Географам также хорошо известно, что реки северного полушария размывают главным образом правый берег. Реки южного полушария ведут себя противоположным образом (закон Бэра). Предпринималось много попыток для объяснения этого явления, и я не уверен, будет ли для знатоков новым то, что я скажу ниже; некоторая часть моих соображений, несомненно, является уже известной. Тем не менее, не найдя никого, кто бы до конца был знаком с причинами обсуждаемых эффектов, я считаю уместным дать здесь их краткое качественное описание.

Прежде всего ясно, что эрозия должна быть тем сильнее, чем больше скорость потока там, где он касается рассматриваемого берега; точнее, эрозия должна быть сильнее в том месте ограничивающей стенки, где скорость потока наиболее быстро падает до нуля. Это является правильным при всех обстоятельствах, независимо от того, обусловлена ли эрозия механическими или физико-химическими факторами (разложение почвы). Поэтому нам следует сконцентрировать свое внимание на обстоятельствах, которые влияют на величину градиента скорости у стенки.

В обоих случаях асимметрия обсуждаемого падения скорости косвенно обусловлена образованием циркуляции, на которой мы и сосредоточим наше внимание. Я начну с небольшого эксперимента, который каждый может легко повторить.

Представим себе чашку с плоским дном, полную чая. Пусть на дне ее имеется несколько чайнок, которые остаются там, так как оказываются тяжелее вытесняемой ими жидкости. Если с помощью ложки привести во вращение жидкость в чашке, то чайники быстро соберутся в центре дна чашки. Объяснение этого явления заключается в следующем. Вращение

* *Die Ursache der Mäanderbildung der Flussläufe und des sogenannten Baerschen Gesetzes.* Naturwiss., 1926, 14, 223—224. (Доложено на собрании Прусской Академии 7 января 1926 г. — *Ред.*)

жидкости приводит к появлению центробежных сил. Эти силы сами по себе не могли бы привести к изменению потока жидкости, если бы последняя вращалась как твердое тело. Но слои жидкости, находящиеся по соседству со стенками чашки, задерживаются благодаря трению, так что угловая скорость, с которой они вращаются, оказывается меньше, чем в других местах, более близких к центру. В частности, угловая скорость вращения, а следовательно, и центробежная сила, будут вблизи дна меньше, чем вдали от него. Результатом этого явится круговое движение жидкости, подобное изображенному на рис. 1, которое возрастает до тех пор, пока под влиянием трения не станет стационарным. Чаинки сносятся в центр круговым движением, чем и доказывают его существование.

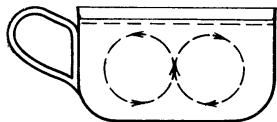


Рис. 1

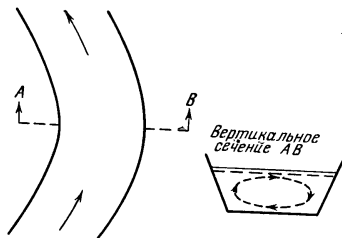


Рис. 2

Подобного же рода явление происходит в искривленном речном потоке (рис. 2). В каждом его поперечном сечении, там, где он искривлен, центробежная сила действует в направлении наружной стороны поворота реки (от А к В). Эта сила около дна, где скорость течения ослаблена трением, оказывается меньше, чем соответствующая сила в слоях, более высоко расположенных над дном. Это обуславливает круговое движение, показанное на рис. 2. Даже там, где нет искривлений реки, круговое движение, подобное показанному на рис. 2, будет все-таки происходить, хотя и в небольших масштабах, как результат вращения Земли. Последнее приводит к появлению силы Кориолиса, действующей перпендикулярно направлению течения, правая горизонтальная составляющая которой равна $2v\Omega \sin\varphi$ на единицу массы жидкости, где v — скорость течения, Ω — угловая скорость вращения земли и φ — географическая широта. Так как трение о грунт приводит к уменьшению этой силы при приближении ко дну, то эта сила также приводит к возникновению кругового движения типа, показанного на рис. 2.

После этого предварительного обсуждения вернемся к вопросу о распределении скоростей по поперечному сечению потока, что является определяющим фактором в эрозии. Для этой цели мы прежде всего должны ясно представить себе, как развивается и сохраняется (турбулентное) распределение скоростей. Если вода, сначала находившаяся в покое, вдруг была бы приведена в движение действием равномерно распределенной силы, то распределение скоростей по поперечному сечению осталось бы сначала равномерным. Распределение скоростей, постепенно возрастающих от ограничивающих стенок в направлении к центру поперечного сечения, установилось бы лишь спустя некоторое время под влиянием трения о стенки. Нарушение (грубо говоря) стационарного распределения скоростей по поперечному сечению произойдет также постепенно под влиянием трения жидкости.

Гидродинамика следующим образом описывает процесс, в результате которого устанавливается это стационарное распределение скоростей. В плоском (потенциальном) потоке все вихревые нити сконцентрированы у стенок. Они отделяются и медленно движутся к центру поперечного сечения русла, распределяясь по слою возрастающей толщины. В связи с этим градиент скорости у стенок постепенно уменьшается. Под действием внутреннего трения жидкости во внутренней части поперечного сечения вихревые нити постепенно поглощаются; их место занимают новые, образующиеся у стенок. Так образуется квазистационарное распределение скоростей. Для нас важным является то, что достижение стационарного распределения скоростей является медленным процессом. Вот почему относительно небольшие постоянно действующие причины способны оказывать значительное влияние на распределение скоростей по поперечному сечению.

Рассмотрим теперь, какое влияние оказывает круговое движение, обусловленное изгибом реки или кориолисовой силой, на распределение скоростей по поперечному сечению реки (см. рис. 2). Частицы жидкости, движущиеся наиболее быстро, оказываются дальше всего от стенок, т. е. в верхней части на середине реки. Эти наиболее быстро движущиеся частицы воды будут переноситься циркуляцией к правому берегу, в то время как к левому будет поступать вода, приходящая из области близ дна и имеющая особо малую скорость. Следовательно, в случае, изображенном на рис. 2, эрозия неизбежно сильнее у правого берега, чем у левого. Следует отметить, что это объяснение существенно основано на том, что медленное циркуляционное движение воды оказывает значительное влияние на распределение скоростей, потому что регулирование ско-

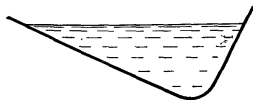


Рис. 3

ростей внутренним трением, противодействующее влиянию циркуляционного движения, также является медленным процессом.

Мы показали причины образования извилин (меандр) реки. Однако на основе сказанного также могут быть без труда выяснены некоторые дополнительные детали. Эрозия окажется относительно более сильной не только у правого берега, но также и в правой половине дна, так что возникнет тенденция к образованию профиля, показанного на рис. 3.

Более того, на поверхность будет приходить вода от левого берега, и поэтому, в особенности у левого берега, она будет двигаться с меньшей скоростью, чем в несколько более низких слоях. Это и наблюдается в действительности. Далее следует отметить, что круговое движение обладает инерцией. Поэтому циркуляция будет достигать своего максимума несколько дальше места с наибольшей кривизной; то же самое относится к асимметрии эрозии. Следовательно, в процессе эрозии извилистая линия реки должна смещаться в направлении течения. Наконец, в случае большего поперечного сечения реки циркуляционное движение медленнее уничтожается трением; поэтому размеры извилин реки будут возрастать с увеличением поперечного сечения реки.

Русский перевод статьи был опубликован в журнале «Успехи физических наук», 1956, 59, 185. Немецкий текст статьи был напечатан также в сб. «Mein Weltbild» (1934). Английский перевод был опубликован в сб. «The World as I see it» и «Ideas and Opinions».

ИСААК НЬЮТОН *

Несомненно, что разум кажется нам слабым, когда мы думаем о стоящих перед ним задачах; особенно слабым он кажется, когда мы противопоставляем его безумству и страстям человечества, которые, надо признать, почти полностью руководят судьбами человеческими как в малом, так и в большом. Но творения интеллекта переживают шумную суету поколений и на протяжении веков озаряют мир светом и теплом. Утешившись этой мыслью, возвратимся в эти смутные дни к памяти Ньютона, который был дарован человечеству три столетия тому назад.

Думать о нем, значит думать о его творчестве. Такой человек может быть понят, только если представлять его как сцену, на которой разворачивалась борьба за вечную истину. Задолго до Ньютона находились сильные умы, полагавшие, что возможно дать убедительные объяснения явлений, воспринимаемых нашими чувствами, путем чисто логической дедукции из простых физических гипотез. Но Ньютон был первым, кому удалось найти ясно сформулированную основу, из которой с помощью математического мышления можно было логически прийти к количественному согласующемуся с опытом описанию широкой области явлений. Он в действительности мог надеяться, что фундаментальная основа его механики могла бы со временем дать ключ для понимания всех явлений. Так думали его ученики и последователи вплоть до конца XVIII в., причем с гораздо большей уверенностью, чем сам Ньютон. Но как в его мозгу зародилось это чудо? Такой вопрос — пусть читатель меня извинит — нелогичен. Ибо если бы наш разум мог осилить проблему этого «как», то уже чуда в собственном смысле слова не было бы. Целью всей деятельности интеллекта является превращение некоторого «чуда» в нечто постигаемое. Если в данном случае чудо поддается такому превращению, наше восхищение силой мысли Ньютона только возрастает.

* *Isaak Newton*. Manchester Guardian, 19 March 1927.

Искусно интерпретируя самые простые опытные факты, Галилей установил следующее положение: тело, на которое не действуют никакие внешние силы, сохраняет неизменной свою начальную скорость (и ее направление); если оно меняет скорость (или направление своего движения), изменение должно быть приписано внешней причине.

Чтобы из этого утверждения получить количественные результаты, надо вначале дать точную математическую интерпретацию понятиям скорости и изменения скорости, т. е. ускорения, в случае заданного движения тела, которое можно считать не имеющим размеров (материальной точкой). Эта задача привела Ньютона к открытию основ дифференциального и интегрального исчисления.

Оно само по себе было творческим достижением первого ранга. Но для Ньютона как физика оно было просто изобретением нового рода познавательного языка, в котором он нуждался для формулировки общих законов движения. Теперь он мог выдвинуть гипотезу о том, что для заданного тела его точно определенное по величине и направлению ускорение пропорционально действующей на него силе. Коэффициент пропорциональности, характеризующий способность тела к ускорению, полностью описывает тело (без размеров) в отношении его механических свойств: так было открыто фундаментальное понятие массы.

Все предыдущее может быть названо, правда слишком скромно, точной формулировкой чего-то, сущность чего была познана еще Галилеем. Но Галилею не удалось решить главной задачи. Закон движения определяет движение тела только в том случае, если направление и величина действующей на него силы известны для всех моментов времени. Поэтому задача сводится к другой: как найти действующие силы? Для ума, менее смелого, чем ум Ньютона, эта задача могла казаться неразрешимой, если принять во внимание огромное разнообразие воздействий, которые тела Вселенной способны производить друг на друга. К тому же тела, движения которых мы можем воспринимать, совсем не являются не имеющими размеров точками, т. е. не воспринимаются как материальные точки. Как удалось Ньютону изучить подобный хаос?

Когда мы толкаем тележку по горизонтальной плоскости без трения, сила, с которой мы на нее действуем, непосредственно задана. Это идеальный случай, из которого выведен закон движения. То, что мы имеем здесь дело не с материальной точкой, кажется несущественным.

Что произойдет с телом, падающим в пространстве? Свободно падающее тело ведет себя так же просто, как и материальная точка, если рассматривать его движение в целом. Оно ускорится вниз.

По Галилею, это ускорение не зависит от природы тела и его скорости. Понятно, что Земля играет решающую роль в существовании этого ускорения. Тогда казалось, что Земля воздействует на тела своим

существованием. Землю можно разбить на многие части. Неизбежно возникала мысль, что на падающее тело действует каждая из этих частей, и все эффекты складываются. Казалось тогда, что существует обусловленная самим присутствием тел сила, с которой эти тела действуют друг на друга через пространство. Эти силы не должны зависеть от скоростей; считалось, что они зависят только от относительного положения и от некоторого количественного свойства различных тел, развивающих эти силы. Это количественное свойство могло быть обусловлено массой, так как казалось, что именно масса характеризует тело с механической точки зрения. Это странное воздействие предметов на расстоянии было названо гравитацией.

Чтобы теперь точно определить этот эффект, остается лишь найти, как велика сила взаимодействия двух тел заданной массы на заданном расстоянии. Что касается направления, то оно, очевидно, совпадает с прямой, их соединяющей. Наконец, остается неизвестной только зависимость этой силы от расстояния между телами. Но ее нельзя узнать априори. В этом случае мог быть полезным только опыт.

Между тем в распоряжении Ньютона такой опыт был. Ускорение Луны на ее орбите известно, и его можно было сравнить с ускорением тела, свободно падающего у поверхности Земли. Впрочем, движения планет вокруг Солнца были определены Кеплером с большой точностью; он описал их простыми эмпирическими законами. Тогда появилась возможность обрисовать, каким образом действие тяготения, идущего от Земли и от Солнца, зависит от фактора расстояния. Ньютон нашел, что все явления могут быть объяснены силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния. Этим цель была достигнута. Зародилась наука — небесная механика, — тысячу раз подтвержденная самим Ньютоном и теми, кто пришел после него. Но как быть с остальной физикой? Гравитация и закон движения не могли объяснить всего. Чем обусловлено равновесие частей твердого тела? Как объяснить световые и электрические явления? Казалось, что если ввести материальные точки и различного рода силы, действующие на расстоянии, можно будет удовлетворительным образом вывести все из закона движения.

Эта надежда не сбылась, и теперь никто не думает о разрешении всех наших проблем на этой основе. Несмотря на это, мышление современных физиков в значительной мере обусловлено основополагающими концепциями Ньютона. До сих пор не удалось заменить единую концепцию мира Ньютона другой, столь же всеобъемлющей единой концепцией. Но то, что мы добились до сих пор, было бы невозможно получить без ясной системы Ньютона.

Интеллектуальные средства, без которых было бы невозможно развитие современной техники, возникли в основном из наблюдения звезд. За зло-

употребление этой техникой в наше время творческие умы, подобные Ньютону, так же мало ответственны, как сами звезды, созерцание которых открывало их мысли. Это необходимо сказать, потому что в наше время интеллектуальные ценности сами по себе не вызывают такого же уважения, как в века интеллектуального возрождения.

Статья напечатана также в «Manchester Guardian Weekly», 1927, 16, 234—235; в «Observatory», 1927, 50, 146—153 и в «Report of Smithsonian Institution», 1927, 201—207. Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

К творчеству Ньютона Эйнштейн возвращался и в дальнейшем (ср. статьи 26—28, 42, 44).

МЕХАНИКА НЬЮТОНА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ *

На этих днях исполняется 200 лет со времени кончины Ньютона. Мы должны восстановить в памяти образ этого блестящего гения; он указал Западу пути мышления, экспериментальных исследований и практических построений, как никто другой ни до, ни после него. Ньютон не только создал гениальные методы; он в совершенстве владел всем известным в его время эмпирическим материалом и был исключительно изобретателен в нахождении математических и физических доказательств. По всему этому он заслуживает нашего высокого уважения. Но фигура Ньютона означает больше, чем это вытекает из его собственных заслуг, ибо самой судьбой он был поставлен на поворотном пункте умственного развития человечества. Чтобы это образно представить себе, вспомним, что до Ньютона не существовало законченной системы физической причинности, системы, которая бы как-то отражала более глубокие черты внешнего мира.

Правда, еще древнегреческие материалисты выдвигали требование сведения всего происходящего в материальном мире к строго обусловленным законами движениям атомов; при этом воля живых существ как самостоятельная причина совершенно исключалась. И Декарт по-своему ставил себе эту цель, но его стремление оставалось смелым желанием, проблематичным идеалом философской мысли. Однако до Ньютона вряд ли существовали те фактические результаты, которые могли бы обосновать мечту о полной физической причинности.

Цель Ньютона заключалась в том, чтобы дать ответ на вопрос: существует ли простое правило для полного вычисления движения небесных тел нашей планетной системы по заданному состоянию движения всех этих тел в один определенный момент времени? Выведенные Кеплером из наблюдений Тихо Браге эмпирические законы движения планет уже были известны и требовали своего объяснения. Сегодня каждый знает, какое огромное, поистине пчелиное, трудолюбие требовалось, чтобы установить

* *Newtons Mechanik und ihr Einfluß auf die Gestaltung der theoretischen Physik.* Naturwiss., 1927, 15, 273—276.

эти законы, исходя из эмпирически найденных орбит. Но мало кто себе представляет гениальность метода, с помощью которого Кеплер определил истинные орбиты, исходя из кажущихся, т. е. из наблюдавшихся с Земли движений. Эти законы дают полное описание движения планеты вокруг Солнца: эллиптическую форму орбит, равенство секториальных скоростей, отношение между большими полуосями и периодами обращения. Но эти законы не удовлетворяли требованию причинного объяснения. Они представляли собой три логически независимых друг от друга правила, лишенных всякой внутренней связи. Третий закон количественно нельзя было безоговорочно перенести на другое, отличное от Солнца, центральное тело (не существует, например, никакой связи между периодом обращения планеты вокруг Солнца и периодом обращения спутника вокруг своей планеты). Но самое главное заключается в том, что эти законы относятся к движению в целом и *не позволяют вывести из состояния движения в некоторый момент времени другое состояние, во времени непосредственно следующее за первым*. По современной терминологии мы бы сказали, что они являются законами интегральными, а не дифференциальными.

Дифференциальный закон является той единственной формой причинного объяснения, которая может полностью удовлетворять современного физика. Ясное понимание дифференциального закона есть одно из величайших духовных достижений Ньютона. Но необходима была не только идея о законе, но и математический формализм, который, правда, существовал в зачатке, но которому нужно было придать систематическую форму. Ее-то и нашел Ньютон в дифференциальном и интегральном исчислении. Не будем обсуждать здесь вопроса, независимо ли от Ньютона пришел Лейбниц к тем же математическим методам или нет. Во всяком случае их развитие было для Ньютона необходимостью, ибо только они давали способы выражения его мыслей.

Важный шаг к познанию законов движения был сделан еще Галилеем. Он нашел закон инерции и закон свободного падения в поле тяготения Земли: масса (точнее, материальная точка), на которую не действуют другие массы, движется равномерно и прямолинейно. Вертикальная скорость свободно падающего тела возрастает в поле тяжести пропорционально времени. Сегодня нам может казаться, что только небольшой шаг отделяет результаты Галилея от законов Ньютона. Но все-таки следует отметить, что оба вышеприведенных утверждения Галилея по форме относятся к движению в целом, тогда как закон движения Ньютона отвечает на вопрос: как меняется состояние движения материальной точки за бесконечно малое время под действием внешней силы? Только переход к рассмотрению явления за бесконечно малое время (т. е. к дифференциальному закону) позволил Ньютону дать формулировку, пригодную для описания любого движения. Понятие о силе он заимствовал из статики,

которая к тому времени была достаточно хорошо развита. Установление связи между силой и ускорением становится возможным только после введения нового понятия массы, которое, впрочем, обосновывается только кажущимся определением. Мы сегодня настолько привыкли к образованию понятий, соответствующих производным, что вряд ли в состоянии оценить ту огромную силу абстракции, которая потребовалась для установления общего дифференциального уравнения движения путем двукратного перехода к пределу, тем более, если при этом учесть, что понятие массы необходимо было еще найти. Но этим далеко еще не было достигнуто причинное понимание явлений движения. Уравнение движения только тогда определяет само движение, когда задана сила. Ньютоном владыка навеянная закономерностями движения планет мысль что действующая на некоторую массу сила зависит от положения всех остальных масс, расположенных достаточно близко от рассматриваемой. Только после установления этой зависимости было получено окончательное причинное объяснение явлений движения. Каким образом, исходя из кеплеровых законов движения планет, Ньютон разрешил эту задачу для тяготения и этим показал тождественность силы тяжести и сил, действующих на небесные тела, общеизвестно. Только совокупность

(Закон движения) плюс (Закон тяготения)

образует ту замечательную систему мыслей, которая в случае, когда явления происходят под действием одной лишь силы тяготения, позволяет по заданному в определенный момент состоянию движения найти как предшествующие, так и последующие состояния.

Логическая замкнутость системы понятий Ньютона обусловлена тем, что в качестве единственной причины ускорения масс некоторой системы выступают эти же массы.

На основе изложенного Ньютону удалось объяснить до мельчайших деталей движения планет, Луны и комет, явление приливов и отливов, прецессионное движение Земли. Это был дедуктивный труд, исключительный по своей грандиозности. Особенно замечательным должно было казаться выяснение того факта, что причина движения небесных тел тождественна столь привычной нам из повседневной жизни силе тяжести.

Но значение трудов Ньютона заключается не только в том, что им была создана практически применимая и логически удовлетворительная основа собственно механики, но и в том, что до конца XIX в. эти труды служили программой всех теоретических исследований в физике. Все физические явления сводились к массам, подчиняющимся законам движения Ньютона. Следовало только расширить закон силы, приспособив его к рассматриваемому кругу явлений. Сам Ньютон пытался осуществить эту программу в оптике, считая, что свет состоит из частиц, обладающих инер-

ций. После того как законы движения Ньютона были применены к непрерывно распределенным массам, ими стали пользоваться и в волновой оптике.

Исключительно на законах движения Ньютона основывалась и кинетическая теория тепла, которая не только подготовила умы к познанию закона сохранения энергии и глубокому пониманию сущности второго начала термодинамики, но и дала подтвержденную до тонкостей на опыте теорию газов. Учение об электричестве и магнетизме до новейшего времени также всецело развивалось под влиянием направляющих идей Ньютона (электрическая и магнитная субстанции, силы дальнего действия). Даже произведенный Фарадеем и Максвеллом в электродинамике и оптике переворот, означавший первый после Ньютона крупный принципиальный шаг в развитии основ теоретической физики, был совершен под влиянием идей Ньютона. Максвелл, Больцман, лорд Кельвин неустанно пытались сводить электромагнитные поля и их динамические взаимодействия к механическим явлениям в непрерывно распределенных гипотетических массах. Но вследствие бесплодности, или, по крайней мере, малой плодотворности этих усилий к концу XIX в. постепенно наметился переворот в основных представлениях; теоретическая физика переросла рамки ньютоновских идей, которые на протяжении почти двух столетий служили ей опорой и идейным руководством.

Основные принципы Ньютона были с логической точки зрения столь удовлетворительными, что стремление к их обновлению могло возникнуть только под давлением опытных фактов. Прежде чем перейти к этому вопросу, я должен подчеркнуть, что Ньютон знал слабости построенной им системы лучше, чем последующие поколения ученых. Это обстоятельство всегда вызывало во мне чувство почтительного удивления; поэтому я хотел бы на этом остановиться.

1. Хотя всюду заметно стремление Ньютона представить свою систему как с необходимостью, вытекающую из опыта, и вводить возможно меньше понятий, не относящихся непосредственно к опыту, он тем не менее вводит понятия абсолютного пространства и абсолютного времени. В наше время ему часто ставили это в упрек. Но именно в этом пункте Ньютон особенно последователен. Он обнаружил, что наблюдаемые геометрические величины (расстояния между материальными точками) и их изменения во времени в физическом смысле не характеризуют полностью движения. Это положение он доказывает своим знаменитым опытом с ведром¹. Следовательно, кроме масс и изменяющихся во времени расстояний между ними, существует еще нечто такое, что определяет происходящие события; это «нечто» он воспринимал как отношение к «абсолютному пространству». Ньютон понимал, что его законы могут иметь смысл только в том случае, если

¹ Ср. примечание к статье 65 (стр. 227).— *Прим. ред.*

пространство обладает физической реальностью в той же мере, как материальные точки и расстояния между ними.

Ясное понимание им этого обстоятельства выявляет как мудрость Ньютона, так и слабости его теории. Логическое построение его теории было бы безусловно более удовлетворительным без этого призрачного понятия; тогда в законах фигурировали бы только такие объекты (материальные точки, расстояния), отношение которых к опытному восприятию вполне ясно.

2. Введение мгновенно действующих на расстоянии сил для представления гравитационных эффектов не соответствует характеру большинства явлений, знакомых нам из повседневного опыта. Ньютон предупреждает эти возражения, указывая, что на его закон следует смотреть не как на окончательное объяснение, а как на выведенное из опыта правило.

3. Учение Ньютона не давало никакого объяснения тому в высшей степени замечательному факту, что вес и инерция тела определяются одной и той же величиной (массой). Достопримечательность этого факта также не ускользнула от Ньютона.

Ни один из этих трех пунктов не возвышается до ранга логического возражения против теории. Они лишь в известной степени выражают неутоленное стремление научного духа, борющегося за всеобъемлющее проникновение в явления природы и их объяснение с единой точки зрения.

Первый удар по учению Ньютона о движении как программе для всей теоретической физики нанесла максвелловская теория электричества. Оказалось, что обусловленное электрическими и магнитными зарядами взаимодействие между телами является следствием не действующих между ними мгновенных сил дальнего действия, а процессов, распространяющихся в пространстве с конечной скоростью. Согласно концепции Фарадея, наряду с материальной точкой и ее движением появилась новая рода физическая реальность, а именно «поле». Исходя из механических представлений, сначала пытались рассматривать поле как некоторое механическое состояние (движения или напряжения) гипотетической среды (эфира), заполняющей пространство. Но поскольку, несмотря на настойчивые попытки, такая механическая трактовка не увенчалась успехом, постепенно привыкли рассматривать «электромагнитное поле» как последний, не сводимый ни к чему другому, структурный элемент физической реальности. Генриху Герцу мы обязаны сознательным очищением понятия поля от всего побочного, внесенного механическими представлениями, а Г. А. Лоренцу — отделением понятия поля от его материального носителя. По мнению последнего, носителем поля является только физически пустое пространство (или эфир), которому уже механика Ньютона приписывала определенные физические функции. Когда эта эволюция завершилась, никто уже не верил в непосредственное мгновенное действие на расстоянии даже

в области тяготения, хотя из-за отсутствия достаточного количества фактов теория поля тяготения не была еще однозначно разработана. После того как отказались от гипотезы Ньютона о силах дальнего действия, развитие теории электромагнитного поля привело к попыткам объяснения законов движения Ньютона с электромагнитной точки зрения или их замены более точными, основанными на теории поля. Хотя эти попытки не завершились полным успехом, тем не менее основные понятия механики перестали быть фундаментом для физической картины мира.

Теория Максвелла — Лоренца неизбежно вела к специальной теории относительности, которая, разрушив понятие абсолютной одновременности, исключила возможность существования сил дальнего действия. По этой теории, масса не является неизменной величиной, а зависит от количества энергии и даже равна ей. Она показала также, что закон движения Ньютона надо рассматривать только как предельный, пригодный для малых скоростей; на его место она поставила новый закон движения, в котором скорость света в пустоте выступает в качестве предельной скорости.

Последним шагом в осуществлении программы теории поля является общая теория относительности. Количественно она мало меняет теорию Ньютона, но зато она ввела глубокие качественные изменения. Инерция, гравитация и метрическое поведение тел и часов сводится к единому свойству поля, а само поле представлено зависящим от тел (это обобщение закона тяготения Ньютона или соответствующего ему закона поля в формулировке Пуассона). Пространство и время были лишены, таким образом, не своей реальности, а своей каузальной абсолютности (влияющее, но не поддающееся влиянию), которую вынужден был им приписывать Ньютон для того, чтобы получить возможность выразить известные тогда законы. Обобщенный закон инерции перенял роль закона движения. Из этой краткой характеристики становится уже ясным, как элементы теории Ньютона перешли в общую теорию относительности, благодаря чему были преодолены указанные выше три недостатка. По-видимому, в рамках общей теории относительности закон движения можно вывести из закона поля, соответствующего ньютоновскому закону сил. Только после достижения этой цели можно будет говорить о чистой теории поля.

Механика Ньютона подготовила путь для теории поля и в другом, более формальном смысле. Использование в механике Ньютона непрерывно распределенных масс с необходимостью приводило к открытию и применению дифференциальных уравнений в частных производных, которые, в свою очередь, дали язык, необходимый для выражения законов теории поля. В этом формальном отношении ньютоновская концепция дифференциального закона представляет собой первый решительный шаг к дальнейшему развитию.

Все развитие наших представлений о явлениях природы, о котором шла речь до сих пор, может рассматриваться как органическое продолжение ньютоновских идей. Но еще в то время, когда разработка теории поля шла полным ходом, опытные факты, касавшиеся теплового излучения, спектров, радиоактивности и т. д., указали границу применимости всей этой системы идей; эта граница еще и сегодня, несмотря на гигантские успехи в отдельных направлениях, кажется нам непреодолимой. Не без серьезных оснований многие физики утверждают, что перед лицом этих фактов оказывается бессильным не только дифференциальный закон, но и закон причинности, бывший до сих пор основным постулатом всего естествознания. Отрицается сама возможность пространственно-временного построения, однозначно соответствующего физическим явлениям. Вряд ли можно вывести из полевой теории, оперирующей дифференциальными уравнениями, непосредственно вытекающую из опыта дискретность значений энергии (или дискретность стационарных состояний) механической системы. Метод де Бройля — Шредингера, имеющий в известном смысле характер теории поля, позволяет, правда, вывести на основе дифференциальных уравнений и соображений о своеобразном резонансе существование дискретных состояний в поразительном соответствии с данными опыта; но те, кто применяют этот метод, вынуждены отказываться от локализации материальных частиц и от строго каузальных законов. Кто осмелится сегодня ответить на вопрос о том, нужно ли окончательно отказаться от дифференциальных и каузальных законов, этих главных составных частей ньютоновской концепции природы?

Статья перепечатана также в сб. «Mein Weltbild» (стр. 191—200). Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

К 200-ЛЕТИЮ СО ДНЯ СМЕРТИ ИСААКА НЬЮТОНА *

Среди людей, которыми мы восхищаемся и которых почитаем, можно более или менее отчетливо различить три типа. Первый тип — это волевые и решительные люди. Именно о них (или почти исключительно о них) идет речь в школе, на уроках того, что называют историей, а точнее, того, что является историей чудовищных насилий, государственных организаций и массовых психозов человечества. Таковы, например, политики и генералы. Большинство людей этого типа оказались бы забытыми через несколько поколений, если бы они не служили объектами истории и драматического искусства. Второй тип — это люди, чья духовная деятельность обеспечила, улучшила или обогатила жизнь целых поколений людей. К этому типу относятся прежде всего изобретатели и целители, чья деятельность протекает в области медицины, техники, социальной и экономической организации. Третий (на мой взгляд, высший) тип охватывает людей, способствовавших подъему человечества в целом на новую ступень переживаний, созерцания, нравственного бытия и сознания и тем самым указавших смысл жизни. К их числу относятся великие художники, создатели этических канонов и мыслители. Для человечества они означают то же, что органическая жизнь — для материи: они являются носителями более высокого сознания. Гением именно этого последнего и высшего типа был Ньютон.

Нетрудно охарактеризовать научные деяния Ньютона, навсегда обеспечившие ему особое место в истории духовного развития человечества. Ньютон был первым, кто попытался сформулировать элементарные законы, определяющие временной ход обширного класса процессов в природе с высокой степенью полноты и точности. Его законам движения вместе с законом тяготения подчиняется движение всех небесных тел, происходя-

* Zu Isaak Newton 200. *Todestage*. Nord und Süd, 1927, 50, 36—40.

щее под действием сил взаимного притяжения. Тем самым Ньютон осуществил мечты философов-материалистов древности — Демокрита и Эпикура, считавших, что должна существовать причинная взаимосвязь всех без исключения физических явлений. После этих успехов вряд ли остались какие-нибудь сомнения в том, что развитие вообще всех материальных явлений происходит с необходимой закономерностью, которую можно было бы сравнить с ходом часов. Кроме того, стало очевидно, что процессы мышления должны быть неразрывно связаны с материальными процессами, протекающими в мозгу, и поэтому стала неизбежной идея о том, что и в основе мышления и желаний человека и животных должны лежать те же строго причинные закономерности. Таким образом, Ньютон оказал своими трудами глубочайшее и сильнейшее влияние на все мировоззрение в целом.

Теперь мы знаем, что тяготение не является единственной силой, действующей в природе. Тяготение не может объяснить силы сцепления в телах, электрические силы, свет. Однако теория движения Ньютона, по видимому, может служить вполне достаточным фундаментом для понимания любого физического процесса, если предположить, что между частицами материи помимо сил тяготения действуют еще и силы совсем иного рода. Такое расширение теории движения было начато еще самим Ньютоном, применившим ее, например, к теории света.

Таким образом, Ньютон заложил основы той совокупности законов природы, которая позволяет понять законы всех явлений. Ньютон считал, что этого можно достичь за счет сведения любых процессов к движениям частиц, взаимодействующих между собой. Эта программа продержалась вплоть до второй половины XVIII века и доказала свою плодотворность в области физики.

Попытаемся хотя бы немного проникнуть в лабораторию ньютоновской мысли.

Поле деятельности для великого систематизатора, каким был Ньютон, подготовили Галилей и Кеплер. Галилей открыл, что «невозмущенное движение» тела прямолинейно и равномерно. При этом под «невозмущенным движением» тела следует понимать движение тела, на которое не действуют другие тела. В этом состоит закон инерции. Его можно сформулировать следующим образом: направление движения и скорость тела остаются постоянными, коль скоро отсутствуют внешние воздействия на тело, называемые силами. Галилей открыл также, что на поверхности Земли скорость свободно падающего тела в равные промежутки времени увеличивается на равные величины.

Ньютон поставил общий вопрос: как изменяется скорость свободного тела под действием произвольно заданной силы? Это — гораздо более общая задача по сравнению с тем, которую рассматривал Галилей, ибо дей-

ствующая сила по своей величине и направлению может произвольно меняться со временем; ответ на нее связан с рассмотрением произвольного движения; он должен содержать общий закон движения. Эта задача может быть решена с помощью решенной Галилеем задачи о падении свободного тела под действием силы тяжести, но она требует нового математического аппарата, специально созданного для этой цели Ньютоном, а именно: дифференциального и интегрального исчисления. Ньютона можно сравнить с поэтом, чьи стихи настолько тонки, что их можно написать только на новом языке, создать который должен сам поэт.

Что же такое, собственно говоря, скорость движущегося тела, представляющего собой материальную точку? Представим себе произвольное движение такого тела.

Рассмотрим два момента времени, разделенных между собой малым промежутком τ . В эти моменты времени тело находится в точках пространства P и Q , расположенных близко друг от друга. Отрезок $P - Q$ представляет собой путь, пройденный телом за время τ . Если представить себе, что отрезок $P - Q$ продолжен за точку Q и на его продолжении отложен отрезок, длина которого во столько раз превосходит длину отрезка $P - Q$, во сколько раз единица времени больше τ , то мы получим скорость материальной точки в точке P в виде стрелки определенной длины — так называемого вектора. Однако это не вполне точно. Произвольный выбор промежутка времени τ скажется, хотя и незначительно, на результате. Более точно можно было бы утверждать следующее: построенная нами стрелка тем точнее представляет скорость, чем меньше выбранный промежуток времени τ . Это — математически точное определение вектора скорости с помощью предельного перехода. Ускорение определяется по скорости так же, как скорость — по заданному движению. В каждый момент времени скорость задается с помощью вектора. Представим себе, что скорость тела в некоторый момент времени задана вектором L , имеющим определенную длину и направление. По истечении малого промежутка времени τ скорость изменится, т. е. новый вектор скорости, M , будет иметь какую-то другую длину и другое направление. Представим себе, что начала векторов L и M перенесены в одну точку. Тогда концы векторов L и M совпадать не будут. Направленный отрезок $S - T$, соединяющий концы векторов, будет изображать изменение скорости за промежуток времени τ . Если отрезок $S - T$ продолжить за точку T и отложить от точки S новый отрезок, длина которого больше длины отрезка $S - T$ во столько раз, во сколько единица времени больше τ , то мы получим изменение скорости в единицу времени, т. е. ускорение. Ускорение также будет изображаться стрелкой, или вектором. В этом случае нам также потребуется предельный переход. Это определение будет тем точнее, чем меньше выбранный промежуток времени τ .

По Ньютону, ускорение, определение которого было только что сформулировано, можно измерить непосредственно по силам, действующим на материальную точку. Это не означает, однако, что вектор силы совпадает с вектором ускорения, ибо ясно, что для того, чтобы привести в движение массу в 2 кг, требуется вдвое большая сила, чем для того, чтобы привести в движение массу в 1 кг. Так Ньютон пришел к необходимости введения массы тела и к установлению знаменитого закона движения:

Вектор ускорения $\times$ Масса = Вектор силы.

Это — фундамент всей механики и, пожалуй, всей теоретической физики.

Если предположить, что сила, действующая на материальную точку, задана для любого момента времени, то ускорение этой точки в любой момент времени будет известно. После этого нахождение ее скорости и положения для любого момента времени будет представлять собой уже не физическую, а чисто математическую задачу.

Но каким образом Ньютон мог найти силы, действующие на небесные тела? Ясно, что правильное выражение для этих сил он не мог высосать из пальца. Ему ничего не оставалось, как действовать в обратном порядке и найти эти силы по известным движениям планет и Луны. Зная эти движения, он вычислил ускорения, а зная их, смог найти силы. Все это он совершил, будучи 23-летним юношей и находясь в деревенском уединении.

Нам достались лишь скудные сведения о творческой лаборатории Ньютона. Однако весьма правдоподобно, что он поступил именно так, как мы говорили. Движение Луны вокруг Земли было известно; следовательно, было известно и ускорение, сообщаемое Землей Луне. Чтобы траектория движения Луны вокруг Земли была такой, как мы ее видим, необходимо, чтобы ускорение было направлено к центру Земли. Было известно также и ускорение, сообщаемое Землей телам, падающим вблизи ее поверхности. Путем сравнения Ньютон обнаружил, что эти ускорения относятся как обратные величины квадратов радиуса Земли и расстояния от Земли до Луны, соответственно. Таким образом, возникло предположение, что сила притяжения Земли изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния. Не будет ли любая масса вести себя так же, как Земля? Это предположение блестяще подтвердилось: гипотеза, примененная к силе тяготения Солнца, позволила полностью объяснить законы движения планет, установленные Кеплером на основе наблюдений за движением планет, произведенных Тихо Браге. Сделать это было не так-то просто, ибо для того, чтобы из закона, по которому изменяется сила и ускорение, получить закон изменения положения, требуются тонкие математические соображения. Закон, по которому изменяется сила тяготения от расстояния, предложенный Ньютоном, увенчался блестящим успехом, ибо благодаря достойному восхищения анализу Кеплера законы движения планет были

известны с высокой точностью. Единственным облачком на небосклоне Ньютона являлось то, что связь между расстоянием до Луны и ее траекторией, о которой говорилось выше, лишь приближенно, но отнюдь не точно, удовлетворяла закону тяготения Ньютона. Однако спустя шесть лет Пикар, занимавшийся измерением длины меридиана, показал, что причиной этого расхождения была неточность в определении радиуса Земли, и тогда теория Ньютона встала на такую прочную основу, как ни одна теория до нее.

Новые идеи содержались и в трудах Ньютона, посвященных теории света; однако о них мы упомянем лишь кратко. Еще меньше нас будут интересовать внешние события и то, что он был профессором математики и занимался чеканкой монет. Следует, однако, упомянуть, что английский народ показал себя достойным того дара небес, каким был для него и для всего мира Ньютон. Точно так же следует сказать и о том, что Ньютон был очень религиозным человеком. Именно из этого глубокого чувства он, несомненно, черпал те сверхчеловеческие силы, которые были необходимы для свершения дела всей его жизни.

Ныне место ньютоновской схемы далекодействующих сил заняла теория поля, претерпели изменение и его законы движения; но все, что было создано после Ньютона, является дальнейшим органическим развитием его идей и методов. И сегодня в Германии мы чтим его как одного из тех, кому современная духовная жизнь обязана своим началом.

ПИСЬМО В КОРОЛЕВСКОЕ ОБЩЕСТВО ПО СЛУЧАЮ 200-ЛЕТИЯ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ НЬЮТОНА*

Вы, англичане, в большей степени, чем любой другой народ, храните традиции, а также живую и осознанную преемственность поколений. Тем самым вы сделали неуязвимыми и зримыми отличительные особенности души вашего народа и духовный подъем всего человечества. Сейчас вы собрались в Грантхэме, чтобы через пропасть времени протянуть руку ушедшему от нас гению и чтобы подышать воздухом тех мест, где он постиг основные понятия механики и физической причинности. Все, кто принимает скромное участие в размышлениях над тайнами физических явлений, мысленно находятся в эту минуту вместе с вами и объединены теми восхищением и любовью, которые связывают нас с Ньютоном. Что же произошло со времен Ньютона в теоретической физике и в органическом развитии его идей? Для Фарадея, Максвелла и Лоренца сила стала самостоятельной реальностью и была заменена концепцией поля. Причинность стали выражать с помощью уравнений в частных производных вместо обыкновенных дифференциальных уравнений, которыми пользовался Ньютон. Теория относительности превратила ньютоновское абсолютное и неподвижное пространство в физическую конструкцию, имеющую жизненно важное значение. Только в квантовой механике дифференциальный метод Ньютона перестал соответствовать действительности, и строгая причинность покинула нас. Но последнее слово в этой области еще не сказано. Пусть же дух ньютоновского метода даст нам силу для восстановления согласия между физической реальностью и наиболее глубокой чертой учения Ньютона — строгой причинностью.

* *Letter to Royal Society on the Occasion of the Newton bi-centenary.* Nature, 119, 1927, 467.

РЕЧЬ У МОГИЛЫ Г. А. ЛОРЕНЦА *

Как представитель научной общественности стран, говорящих на немецком языке, как представитель Прусской Академии наук и прежде всего как ученик и преданный почитатель стою я у могилы величайшего и благороднейшего из наших современников. Его блестящий ум указал нам путь от теории Максвелла к достижениям физики наших дней. Именно он заложил краеугольные камни этой физики и создал ее методы.

Свою жизнь он до мельчайших подробностей создавал так, как создают драгоценное произведение искусства. Никогда не оставлявшие его доброта, великодушие и чувство справедливости вместе с глубоким, интуитивным пониманием людей и обстановки делали его руководителем всюду, где бы он ни работал. Все с радостью следовали за ним, чувствуя, что он стремится не властвовать над людьми, а служить им. Образ и труды его будут служить на благо и просвещение еще многих поколений.

* *Ansprache am Grabe von H. A. Lorentz.* Math.-naturwiss. Blätter, 1928, 22, 24. (Перепечатано в «Mein Weltbild», 1934, стр. 25.— *Ред.*).

ЗАСЛУГИ Г. А. ЛОРЕНЦА В ДЕЛЕ МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА *

При той далеко идущей специализации, которую принес с собой девятнадцатый век, те, кто занимает ведущее положение в одной из наук, редко находят в себе силы, чтобы оказывать обществу ценные услуги в области международного сотрудничества и политики. Такая деятельность требует не только энергии, понимания важности проблем и солидной репутации, основанной на крупных научных достижениях, но и редкой в наше время независимости от национальных предрассудков и преданности общим интересам. Я не встречал никого, в ком эти качества сочетались бы с таким совершенством, как у Г. А. Лоренца. Но самым замечательным в его личности было другое. Независимые и сильные натуры, часто встречающиеся среди ученых, неохотно подчиняются чужой воле и в большинстве случаев оказывают сильное сопротивление тем, кто пытается ими руководить. Если же в президентском кресле сидел Лоренц, то неизменно создавалась атмосфера дружественного сотрудничества, несмотря на то, что цели и образ мыслей присутствовавших могли значительно отличаться. Секрет такого успеха объясняется не только тем, что Лоренц умел быстро разбираться в людях и событиях и великолепно владел речью. В первую очередь это объясняется тем, что все чувствовали: Лоренц беззаветно предан делу и целиком отдает ему себя. Ничто так не обезоруживало непокорных, как это.

До войны деятельность Лоренца на поприще международного сотрудничества ограничивалась его председательствованием на физических конгрессах. В частности, можно назвать Сольвеевские конгрессы, первые из которых происходили в Брюсселе в 1909 и 1911 гг. Затем разразилась война в Европе, явившаяся тягчайшим ударом для всех, кто принимал близко к сердцу дело улучшения сотрудничества между народами. Еще во время войны Лоренц стал отдавать много сил делу международного при-

* *H. A. Lorentz. Tätigkeit im Dienst der internationalen Zusammenarbeit. Math.-naturwiss. Blätter, 1928, 22, 24—25. (Перепечатано в «Mein Weltbild», стр. 25—29. — Ред.).*

мирения. Особенно ярко проявилась его деятельность после окончания войны. Исключительно большие усилия он направлял на восстановление плодотворного и дружественного сотрудничества между отдельными учеными и научными обществами. Тот, кто не был рядом с ним, вряд ли сможет себе представить, какой огромной была эта работа. Ненависть, накопившаяся за время войны, еще не исчезла, и многие влиятельные люди под давлением обстоятельств все еще занимали непримиримую позицию. Поэтому деятельность Лоренца напоминала усилия врача, который лечит непослушного пациента, отказывающегося принимать тщательно приготовленные для его же пользы лекарства.

Но Лоренц не давал себя запугать, если знал, что избранный им путь верен. Сразу же после окончания войны он вошел в руководство «Совета по исследованиям», созданного учеными стран-победительниц. Ни отдельные ученые, ни научные общества «центральных держав» (т. е. Германии и Австро-Венгрии. — *Ред.*) в этот совет включены не были. Этим своим шагом, который был расценен как обида ученых «центральных держав», Лоренц намеревался оказать свое влияние на эту организацию и превратить ее в подлинно международный орган. После неоднократных попыток ему и другим благоразумным членам Совета удалось исключить те пункты из устава этой организации, в которых говорилось о том, что ученые «центральных держав» не могут участвовать в ее работе. Однако цель, состоявшая в восстановлении нормального и плодотворного сотрудничества между научными обществами, достигнута еще не была, поскольку ученые «центральных держав», раздраженные длившимся почти десять лет исключением почти из всех международных организаций, привыкли держаться обособленно. Однако можно было надеяться, что лед будет сломлен благодаря тактичным усилиям, предпринимавшимся Лоренцем ради общего блага.

Кроме этого, Г. А. Лоренц отдал много сил развитию международного культурного сотрудничества, согласившись работать в комиссии Лиги Наций по интеллектуальному сотрудничеству под председательством Бергсона, которая была создана пять лет тому назад. В течение последнего года председателем этой комиссии, которая при активной поддержке подчиненного ей Парижского института должна была стать посредником в области интеллектуальной деятельности и искусства между различными кругами деятелей культуры, был Лоренц. И здесь также сказались благотворное влияние его ума, человеколюбия, скромности и других личных качеств. Его девизом, которому он неизменно следовал, но никогда не высказывал вслух, были слова:

«Не властвовать, а служить».

Пусть же его пример послужит торжеству этого принципа!

ПО ПОВОДУ КНИГИ ЭМИЛЯ МЕЙЕРСОНА „РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ДЕДУКЦИЯ“*

Нетрудно понять, чем обусловлено неповторимое своеобразие этой книги. Ее автором является человек, владеющий знанием основных направлений современной физической мысли и обладающий глубокими познаниями в истории философии и точных наук. Острая наблюдательность, присущая автору книги, позволяет ему вскрывать те внутренние психологические связи и мотивы, которые являются движущей силой нашего духовного развития. В его работе удачно сочетаются тонкость логических построений, инстинкт психолога, глубокие познания, простота и ясность изложения.

Основная идея Мейерсона, определившая направление всей работы, состоит, по-видимому, в том, что теорию познания можно построить не с помощью анализа мышления и рассуждений чисто логического порядка, но лишь с помощью рассмотрения и интуитивного схватывания констатаций эмпирического порядка. «Констатация эмпирического», по Мейерсону, состоит из совокупности имеющихся научных результатов и их истории. По-видимому, у автора рассматриваемой нами книги сложилось впечатление, что основной проблемой должна была бы быть проблема соотношения между научным мышлением и содержанием данных нашего опыта, а именно: в какой мере в науках можно говорить об индуктивном и дедуктивном методе? Он отвергает позитивизм так же, как и прагматизм, и борется с увлечением этими философскими течениями. Хотя события и факты действительности и составляют основу всякой науки, они не являются ее содержанием, сущностью. Они просто являются теми данными, которые составляют предмет этой науки. Отсюда следует, что простую констатацию эмпирических соотношений между экспериментальными фактами нельзя считать единственной целью науки. В самом деле, простой констатацией нашего опыта не являются прежде всего связи общего порядка, выражаемые нашими «за-

* *A propos de «La Déduction Relativiste» de M. Émile Meyerson.* Revue Philosophique de la France et de l'Étranger, 1928, 55, 161—166.

конами природы», ибо их можно сформулировать и вывести лишь с помощью рациональных построений, которые не следуют из опыта однозначно. Кроме того, наука не занимается формулированием закона, которому подчиняются данные опыта; она скорее пытается построить логическую систему, состоящую из минимального числа предпосылок, из которой бы как следствия вытекали все законы природы. Эта система, точнее, совокупность входящих в нее понятий, находится в соответствии с данными нашего опыта. С другой стороны, эта система, которая ищет свое обоснование в точном соответствии со всей совокупностью экспериментально полученных фактов, должна отвечать и миру реальных вещей доначного мышления. Итак, всякая наука строится на некоторой реалистической философской системе. Вывод всех законов, которым подчиняются данные нашего опыта, из утверждений, логически выводимых в рамках рассматриваемой системы, и составляет, по Мейерсону, высшую цель всех научных исследований. К этой цели мы постоянно стремимся, тщетно преследуя ее, ибо достичь этой цели невозможно.

С этой точки зрения Мейерсон является рационалистом, а не эмпириком. Во всяком случае он разделяет критический реализм в смысле Канта. В самом деле, в рассматриваемой системе нет ничего такого, что можно было бы считать априори необходимым, что было бы ее составной частью в силу самой природы нашего мышления. Те же соображения остаются в силе, если говорить о формах логики и о причинности. Мы не имеем права задавать вопрос о том, как *должна быть* построена научная система. Можно спрашивать лишь о том, как она была *построена* на самом деле, на уже завершенных этапах ее эволюции. Ее логические основы так же, как и внутренняя структура, с логической точки зрения являются «соглашениями». Свое единственное обоснование научная система находит лишь в том, что она отвечает опытным фактам, унифицирует мышление и содержит небольшое число логических посылок.

Словом «релятивизм» Мейерсон обозначает дедуктивную систему теории относительности. Необходимо отдавать себе ясный отчет в том, что дедуктивная система теории относительности не является чем-то новым, что в корне бы отличалось от дедуктивной системы старой физики (как это могло бы показаться после прочтения некоторых страниц рецензируемой книги). Теории относительности всегда были чужды подобные притязания. Исходя из идеи о том, что не существует никакого физически выделенного состояния движения (принцип относительности), теория относительности выражает эту идею в следующем виде: *уравнения физики должны быть ковариантными относительно любых точечных преобразований четырехмерного пространственно-временного континуума*. Эта идея стала правдоподобной в результате многочисленных наблюдений над светом, инерцией и гравитацией. Этому требованию теории относительности удовлетворяют

(может быть, в несколько модифицированной форме) все известные ранее фундаментальные физические законы. Принцип относительности, или, точнее, принцип ковариантности, и должен составлять тот весьма общий фундамент, на котором можно возвести все здание физической теории. Новой является не физическая теория в целом, а лишь ее приспособление к принципу относительности. Автор, по-видимому, полностью разделяет эту точку зрения, ибо он неоднократно подчеркивает существенное сходство между релятивистским мышлением и законами и общими тенденциями, выявившимися в науке ранее¹.

С другой стороны, можно считать, что сам принцип относительности экспериментально обоснован гораздо лучше, чем наука в ее современном виде, возникшая в результате приведения прежней науки в соответствие с принципом относительности. В настоящее время нельзя сказать с уверенностью, но можно опасаться, что понятия «метрического поля» и «электромагнитного поля» окажутся недостаточны для интерпретации некоторых фактов, вытекающих из теории квантов. Но идея о том, что может быть опровергнут сам принцип относительности, заслуживает серьезного рассмотрения.

Мейерсон считает важным, что все интеллектуальное сооружение физики в процессе своего приспособления к принципу относительности приобретает в известной мере характер строго логической дедуктивной системы. Мейерсон не отрицает дедуктивный и весьма абстрактный характер системы, а усматривает в нем лишь проявление общей тенденции истории развития точных наук: в самом деле, можно констатировать, что удобство аксиом и методов (в психологическом смысле) все чаще и чаще приносится в жертву единству всей системы, понимаемому в чисто логическом смысле.

Этот дедуктивный и конструктивный характер позволяет Мейерсону провести чрезвычайно остроумное сравнение теории относительности с системами Гегеля и Декарта. Успех этих трех теорий у их современников он приписывает строгости их логического построения и их дедуктивному характеру. Человеческий разум не занимается установлением связей, он хочет их *понять*, и превосходство теории относительности над двумя другими концепциями, по Мейерсону, состоит в том, что теория относительности дает точное количественное описание фактов и позволяет охватить множество экспериментальных результатов. Он усматривает общее между теорией относительности и теорией Декарта в том, что в обеих теориях происходит ассимиляция физических идей идеями пространственными, т. е. геометрическими. Правда, в теории относительности эту идею удастся полностью реализовать лишь для электромагнитного поля в духе теорий Вейля и Эддингтона.

¹ La deduction relativiste, p. IX, 61 и 227, в особенности 247 и 251.

Некоторые утверждения Мейерсона можно понять неправильно, и тут необходима осторожность. Это в особенности относится к следующему его высказыванию: «Теория относительности сводит физику к геометрии». Совершенно верно, что в теории относительности (метрическая) геометрия, если ее рассматривать как науку, в корне отличающуюся от дисциплин, относящихся к разряду «физических», теряет свое независимое существование. Там же² Мейерсон приводит отрывок из книги Эддингтона, где ставится вопрос о «геометрической теории» Вселенной. Но и до теории относительности было бы необоснованным считать геометрию в отличие от физики наукой *априорной*. Тот, кто встал бы на подобную точку зрения, упустил бы из виду, что геометрия является наукой о возможных перемещениях твердых тел. Согласно же общей теории относительности, метрический тензор вместе с движением свободных тел при отсутствии электромагнитных явлений определяется с помощью масштабных линеек и часов.

Этот тензор называется «геометрическим», ибо аналогичная ему математическая величина впервые была введена в науку, известной под названием «геометрия». Тем не менее, отсюда еще не следует, что во всякую науку, в которой играет роль какая-нибудь похожая величина, нужно называть «геометрией», даже если этим хотят подчеркнуть сходство понятий этой науки с привычными геометрическими представлениями. По-видимому, Максвелл и Герц руководствовались именно такой аргументацией, когда назвали «геометрическими» уравнения электромагнитной теории в вакууме, ибо в эти уравнения входило геометрическое понятие вектора.

Кроме того, сущность теорий электромагнитного поля Вейля и Эддингтона состоит вовсе не в сведении этого поля к геометрии, а в указании возможного пути, позволяющего с единой точки зрения рассматривать гравитацию и электромагнетизм, хотя в теории эти два поля входят логически независимо друг от друга. Итак, я считаю, что термин «геометрический», если понимать его так, как указывалось выше, лишен всякого смысла. Напротив, особо подчеркнутая Мейерсоном аналогия между релятивистской физикой и геометрией имеет глубокий смысл. Рассматривая с философской точки зрения революцию, совершенную новыми теориями, можно обратить внимание на одну тенденцию, наметившуюся еще раньше в процессе научного прогресса, но ставшую особенно отчетливой именно теперь. Это — тенденция к максимальному упрощению «различных» теорий и, если можно так выразиться, их растворению в понятии *пространства*. Мейерсон показал, что полное такое сведение, бывшее заветной мечтой Декарта, в действительности невозможно даже в самой теории относительности. Поэтому он с полным основанием указывает на ошибку, часто встречаю-

² La Déduction relativiste, p. 137.

щуюся при изложении теории относительности, которую совершают, низводя время на один уровень с пространством (*spatialisation du temps*). Хотя в основе времени и пространства лежит один и тот же *континуум*, они не равноправны. Свойства элемента пространственного расстояния и свойства элементарного интервала времени различны. Это различие проявляется и в формуле, определяющей квадрат мирового интервала между двумя бесконечно близкими событиями.

Однако подмеченная Мейерсоном тенденция, глубоко коренящаяся в сознании физиков, тем не менее реальна и сильна и отнюдь недвусмысленно проявляется в извращениях теории относительности, встречающихся в работах вульгаризаторов науки и даже самих ученых.

Я считаю, что книга Мейерсона является лучшей из книг по теории относительности, написанных с позиций теории познания. Остается лишь пожалеть о том, что автор полностью игнорировал работы Шлика и Рейхенбаха, которые мог бы, безусловно, оценить по заслугам.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОНЯТИЯ ФИЗИКИ И ИЗМЕНЕНИЯ, КОТОРЫЕ ПРОИЗОШЛИ В НИХ ЗА ПОСЛЕДНЕЕ ВРЕМЯ *

Несмотря на то, что наш мир как объект чувственного восприятия раскрывает перед нами лишь неясную взаимосвязь между явлениями, а наши действия кажутся нам свободными, т. е. не подчиняющимися никакому объективному закону, мы все же ощущаем потребность в интерпретации событий как необходимых и полностью подчиняющихся закону (причинности). Эта потребность, несомненно, является продуктом интеллектуального опыта, приобретенного в процессе развития культуры. С другой стороны, первобытный человек пытается отнести все происходящее за счет проявления воли невидимых духов по аналогии с актами своей воли. Поэтому постулат о строго причинной интерпретации природы коренится не в человеческой душе. Он является результатом продолжительного приспособления человеческого интеллекта.

Уверенность в том, что явления природы с необходимостью следуют закону причинности, в конечном счете основывается лишь на скромных успехах, достигнутых в результате попыток человеческого разума установить взаимосвязь между явлениями природы. Следовательно, эта уверенность не имеет абсолютного характера. И поныне многие склонны не соглашаться с постулатом о невозможности нарушить законы природы, какие бы они ни были. Нам нелегко считать проявления нашей воли зависящими от строго последовательной цепи событий и отказаться от убеждения, что наши поступки ничем не связаны. Для гордого человека изречение: «Мы и в самом деле можем поступать, как хотим, но нас заставляют хотеть то, что мы должны делать» является горькой пилюлей. И все же кто стал бы отрицать, что за последние столетия люди не только проглотили эту пилюлю, но и полностью ее усвоили? Несмотря на нашу убежденность в том, что практическая жизнь без иллюзии свободы воли невозможна, учению о неизбежном проявлении причинности не грозит сколько-

* *Fundamental Concepts of Physics and their Most Recent Changes*. St. Louis Post-Dispatch, 9 December 1928, Supplement.

нибудь серьезная опасность со стороны философской психологии. В частности, сведения о воздействии на психические реакции внутренней секреции, гипноза, о влиянии некоторых ядов заставили полностью умолкнуть оппозицию, пытавшуюся нападать на принцип причинности с этой стороны.

В настоящее время уверенности в постоянно действующей причинности угрожают именно те, кому она освещала путь и чьим главным и полновластным руководителем она была — представители физики. Чтобы осознать эту тенденцию, заслуживающую самого пристального внимания со стороны всех мыслящих людей, мы должны рассмотреть «с высоты птичьего полета» картину развития фундаментальных понятий физики до самого последнего времени.

Наука стремится понять связи между данными чувственного восприятия, т. е. создать такую логическую конструкцию из понятий, в которую такие связи будут входить в качестве логических следствий. Выбор понятий и правил построения всей конструкции свободен. Обоснованием выбора являются лишь результаты. Это означает, что выбор должен приводить к правильным соотношениям между данными чувственного опыта.

В начале своего развития физика заимствовала понятия числа, пространства, времени, материального тела у донаучного мышления и пыталась обойтись этими идеями. Прежде всего возникло учение о пространственных отношениях между телами безотносительно к изменениям во времени — эвклидова геометрия. В создании этой первой логической системы понятий, трактующих поведение каких-то природных объектов, состоит бессмертная заслуга древних греков. За эвклидовой геометрией последовало учение об изменении пространственных положений тел во времени — классическая механика, начала которой заложили Галилей и Ньютон. В основу ее была положена геометрия Эвклида. Эта теория была создана в первую очередь для того, чтобы объяснить движения небесных тел. Основные ее положения сводятся к следующему. Материальная точка движется равномерно и прямолинейно до тех пор, пока она находится на достаточном расстоянии от всех остальных материальных точек. Если же другие тела находятся достаточно близко, то материальная точка движется с ускорением, полностью определяемым ее положением относительно остальных масс. Определение величины этого ускорения связано со специальными гипотезами относительно природы сил взаимодействия. Одной из таких гипотез была гипотеза о всемирном тяготении. Ее полная математическая формулировка была дана Ньютоном.

Такая строго причинная схема была расширена и позволила объяснить не только механические явления в узком смысле этого слова. Другие явления, происходящие в телах и не относящиеся непосредственно к числу

механических явлений, удалось интерпретировать как движение и равновесие более мелких кирпичиков вещества. Так были объяснены изменения агрегатного состояния и температуры и химические превращения. Попытка свести все процессы к механике с необходимостью привела к атомной теории. Казалось, что все явления можно считать строго причинными и относящимися к механике, если только надлежащим образом расширить гипотезу о характере действующих сил.

Вся эта программа, освещенная еще великими материалистами древней Греции, сводится к утверждению, что реальность состоит только из материальных точек, не испытывающих никаких других изменений, кроме движения, происходящего по законам Ньютона.

Руководствуясь этой программой, удалось получить замечательные результаты. Небесная механика, техническая механика, теория теплоты, теория кристаллов и даже химия пышно расцвели на этой основе, не встретив на своем пути в принципе никаких особых трудностей. На первый взгляд казалось, что теории электромагнетизма и света не противоречат этой схеме и укладываются в нее. На сегодня существование неизменяемых элементарных тел (электронов, протонов) является установленным фактом.

И все же в настоящее время мы определенно знаем, что фундаментальные понятия и гипотезы Ньютона представляют собой лишь некоторое приближение к истине. Впервые необходимость в создании фундаментальных новых понятий возникла при рассмотрении законов электричества и света. Когда в первой половине девятнадцатого века стал очевиден колебательный характер света, его по-прежнему связывали с движением гипотетического тела — светоносного эфира. Но чем точнее становились наши знания свойств света, тем труднее было приписывать светоносному эфиру такие механические свойства, которые позволили бы объяснить их непротиворечивым образом. Согласно сделанному предположению, эфир был равновидностью материальной субстанции, имеющей мало общего с «осязаемой и весомой» материей остальной физики. В результате возведенное Ньютоном величественное здание утратило свое первоначальное структурное единство.

Вскоре после того, как исследования Фарадея и Максвелла вскрыли тесную связь между электричеством и светом, стало ясно, что одно фундаментальное понятие все же не может выстоять против фактов. Таким понятием явилось понятие сил, действующих непосредственно на расстоянии (мгновенно распространяющихся). Его место заняло фундаментально новое понятие: понятие «поля». Теперь уже одно электрически заряженное тело не могло непосредственно воздействовать на другое заряженное тело. Оно было окружено полем, изменения которого во времени и пространстве подчинялись своим особым законам. Это поле могло даже отрываться от тел. Говоря о поле, имели в виду энергетическое состояние про-

странства, математически описываемое непрерывными функциями и столь же реальное физически, как и элементарные частицы материи. Вскоре оказалось, что это фундаментальное понятие должно стать сверхструктурой в том смысле, что электроны и протоны должны рассматриваться лишь как существенно различные точки поля. Попытка вывести механику из законов электромагнитного поля привела к созданию электромагнитной механики.

Тем самым были заложены основы физики, принципиально отличающейся от физики Ньютона и в то же время значительно превосходившей ее логической непротиворечивостью. В соответствии с этим теория относительности была не более, чем следующим этапом развития теории поля. Теория относительности показала, что одновременность событий не имеет абсолютного характера и что геометрия Эвклида выполняется неточно. Законы взаимного расположения тел оказались свойством гравитационного поля, чьи закономерности были открыты.

Таким образом, теория поля поколебала фундаментальные понятия времени, пространства и материи. Однако одна опора здания оказалась неизбежной: гипотеза причинности. Законы природы таковы, что из состояния мира в некоторый момент времени однозначно следуют все другие его состояния как в прошлом, так и в будущем.

Однако в настоящее время возникли серьезные сомнения относительно понимаемого таким образом принципа причинности. Эти сомнения обусловлены не погоней ученых за новыми сенсациями. Толчком, побудившим к ним, явились факты, кажущиеся противоречащими теории строгой причинности. По-видимому, поле, рассматриваемое как физическая реальность в последней инстанции, не позволяет должным образом объяснить отдельные факты, связанные с излучением и строением атома. Именно здесь мы сталкиваемся с проблемами такой сложности, что для преодоления их требуется чудовищное напряжение интеллектуальной мощи современного поколения физиков.

Всякий знает, что с помощью ультрафиолетового света, а тем более с помощью рентгеновых лучей, можно вызывать элементарные химические процессы гораздо большей энергии, чем с помощью красного или желтого света. Однако важна не интенсивность излучения, а лишь его цвет, или частота. Экспериментально доказано, что энергия, получаемая поглощающим телом за элементарный акт поглощения, зависит только от частоты падающего излучения. Теория поля не могла объяснить этот факт. Согласно этой теории, локальная концентрация энергии должна была бы зависеть только от интенсивности излучения, но отнюдь не от его частоты. На основе теории поля нельзя понять, почему излучение данного цвета должно всегда излучаться или поглощаться только определенными порциями (по энергии).

Нечто аналогичное проявляется во вращении электронов вокруг атомного ядра (примеры явлений, очень часто встречающихся в природе). Эти явления отвечают вполне определенным значениям энергии, что абсолютно непонятно, если подходить с точки зрения принятой до сих пор механической теории. Доказано, что строение материи связано с наличием таких состояний с дискретными значениями энергии. Уже созданы теории, позволяющие с высокой точностью рассчитать такие структуры и условия, при которых они претерпевают изменения. Но эти теории характеризуются тем, что жертвуют строгой причинностью; они являются существенно статистическими теориями.

Далее следует объяснить, что мы понимаем под статистической теорией. Статистические законы играли важную роль и в старой физике. Если в сосуде имеется находящийся под очень низким давлением газ, который через очень тонкое отверстие сообщается с вакуумом, то время от времени (например, каждые 10 секунд) молекула газа будет из сосуда переходить во внешнее пространство. Поэтому вероятность того, что молекула покинет сосуд в течение данной конкретной секунды, равна $1/10$. Это — статистическое утверждение. Но до последнего времени никто не сомневался, что в основе закономерностей такого рода лежат точные законы соударений молекул газа между собой и стенками сосуда. Чтобы точно предсказать, когда молекула покинет полный сосуд, мы должны были бы в принципе знать все эти законы и уметь математически описывать обстоятельства движения всех молекул в некоторый данный момент времени. В этом случае статистический закон был бы всего лишь результатом комбинации строго причинного закона с неполным знанием или неточной оценкой истинного начального состояния рассматриваемой системы.

Согласно современным теориям, основы законов природы не являются причинными, а, напротив, носят существенно статистический характер. Например, если у меня имеется несколько атомов в состоянии A , то они могут самопроизвольно перейти в состояние B с испусканием света. Существует определенная вероятность того, что данный атом в данный момент времени действительно совершит такой переход. Даже если бы в этих теориях состояния атома описывались с какой угодно высокой точностью (в чем я сомневаюсь), я все же не смог бы, опираясь на законы природы, заранее предсказать, когда тот или иной конкретный атом действительно перейдет в состояние B . Это означает «принципиальный» отказ от причинности. Утверждается, что все законы природы «в принципе» статистичны, и только несовершенство наших наблюдений ввело нас в заблуждение и породило уверенность в строгой причинности.

Достаточно интересно само по себе это обстоятельство, что рациональная наука может существовать и после отказа от строгой причинности. Более того, нельзя отрицать, что отказ привел к важным достижениям в

области теоретической физики. Однако я должен признаться, что мой научный инстинкт восстает против подобного отказа от строгой причинности. Но все же приходится признать, что сегодня мы далеки от понимания требований строгой причинности, которые казались такими самоочевидными нашим предшественникам.

Не могу не упомянуть об одном из последних достижений, имеющем решающее значение и непреходящий характер. Свойства излучения, о которых уже говорилось, привели к сравнению излучения с газом, молекулы которого движутся в направлении лучей света и несут с собой энергию, зависящую только от цвета излучения, т. е. от частоты. Аналогично, возникшая недавно волновая теория материи сопоставляет волновое поле с движущимися частицами. Эта аналогия приводит к потоку частиц, свойства которых отвечают свойствам, наблюдаемым в явлении интерференции световых и рентгеновых лучей. Эта точка зрения получила экспериментальное подтверждение. Было показано, что пучок катодных лучей, т. е. совокупность движущихся заряженных частиц, отклоняется после прохождения молекулярной решетки кристалла так же, как и рентгеновы лучи, или как световые лучи, отклоняются после прохождения дифракционной решетки. Здесь мы встречаемся с новым свойством материи, которое не может объяснить ни одна из строго причинных теорий, бывших в моде до самого последнего времени.

РЕЧЬ НА ЮБИЛЕЕ ПРОФЕССОРА ПЛАНКА *

Какими словами выразить те чувства, которые волнуют меня в этот момент, когда я стою перед заслуженным ученым и другом, с которым на протяжении многих лет меня связывало столько общего? Прошло двадцать девять лет с того времени, когда я, в ту пору еще юноша, восторженно воспринял Ваш гениальный вывод формулы излучения, впервые позволивший точно определить размеры атома и совершенно по-новому применить статистический метод Больцмана. Уже тогда, уважаемый профессор, Вы понимали, что за введенной Вами новой постоянной h должно скрываться некоторое фундаментальное структурное свойство всех процессов, происходящих в природе. В выяснении этого свойства и должна состоять важнейшая цель будущих десятилетий. С принципиальной точки зрения реализация этой программы составляет содержание важнейшего направления развития новой теоретической физики.

Что необычайного я нашел в Вашей постановке задачи? С наиболее общей формальной точки зрения я пришел к более глубокому пониманию взаимосвязи явлений, которое после Ваших основополагающих работ приносит физикам все новые и новые плоды. Если же говорить конкретно, то мои настойчивые усилия группировались вокруг двух идей. То, что происходит в природе, по-видимому, настолько детерминировано, что глубокие закономерности связывают не только протекание процесса во времени, но и его начальное состояние. Я надеялся, что эту идею удастся реализовать, если я сумею найти переопределенную систему дифференциальных уравнений. При этом указывать путь должны общий принцип относительности и гипотеза о единой структуре физического пространства, т. е. поля. Эта цель и поныне не достигнута, и вряд ли я смогу найти хотя бы одного коллегу, который бы разделял мою надежду на то, что на этом пути удастся прийти к более глубокому пониманию действительности. То, что мне

* *Ansprache von Prof. Einstein an Prof. Planck. Forschungen und Fortschritte, 1929, 5. Jahrgang, № 21, 248—249.*

удалось сделать в области квантовой теории, представляет собой лишь случайные удачи или кусочки, которые удалось отбить при безуспешных попытках решить проблему в целом. Мне неловко получать здесь столь высокую награду.

Хотя я глубоко убежден в том, что мы не остановимся на уровне субпричинности, а придем в конце концов к сверхпричинности в том смысле, о котором говорилось выше, я восхищаюсь работами физиков молодого поколения, объединенными под названием квантовая механика, и верю в правильность этой теории. Я только считаю, что ограничения, приводящие к *статистическому* характеру ее законов, должны быть со временем устранены.

Несколько слов о Вас, дорогой и уважаемый господин Планк. Я очень рад предоставившейся мне возможности высказать Вам, человеку необыкновенному, свою глубокую благодарность за ту моральную поддержку, которую Вы мне оказывали. Вы были одним из самых деятельных зачинателей современной физики, Вы первый выступили в защиту теории относительности. Вы в значительной степени способствовали тому, что я получил признание и смог работать в условиях, которые редко выпадают на чью-либо долю. По всем вопросам, по которым нам с Вами приходилось сотрудничать, между нами царил единство и согласие. Часто мне случалось восхищаться той объективностью, с которой Вы всегда решали все вопросы, независимо от мотивов личного или политического характера.

Ваши идеи будут оказывать свое воздействие, покуда будет существовать физика. Я надеюсь, что последующие поколения ничуть не меньше будут ценить и тот пример, который Вы им подаете всей своей жизнью.

С этими мыслями и чувствами, преисполненный радости и смущения, я принимаю из Ваших рук медаль Планка.

По случаю 50-летия защиты докторской диссертации профессором Планком Немецкое физическое общество в Берлине и Немецкое общество технической физики устроили 28 июня 1929 г. торжественное заседание. На этом заседании председатель Немецкого физического общества проф. Г. Ронен-Бони вручил профессору Планку первую медаль Планка, учрежденную в честь семидесятилетия Планка. Вторая медаль Планка была вручена профессору А. Эйнштейну самим Планком.

ЗАМЕЧАНИЕ К ПЕРЕВОДУ РЕЧИ АРАГО „ПАМЯТИ ТОМАСА ЮНГА“ *

Издателям журнала пришла в голову счастливая мысль почтить память этого поистине гениального человека опубликованием замечательной речи Араго. Сам Араго был выдающимся мыслителем, тонким, способным уловить малейшие оттенки психологии и к тому же современником Юнга, сумевшим донести до нас не только результаты трудов последнего, но и все обаяние и жизнерадостность его личности.

Араго подробно остановился лишь на одном из двух великих достижений Юнга: объяснении интерференции и дифракции света, и ничего не сказал о том, как Юнг объяснил богатство и многообразие нашего цветоощущения.

Причина этого проста. Юнг принадлежал к числу тех редких, наделенных необычайной фантазией мыслителей, чье упорство в разработке своих идей или, более кратко, усидчивость, не соответствуют богатству их оригинальных идей. Потребовались научные дарования первого ранга — Френель и Гельмгольц, — чтобы разработать обе эти великие идеи до такой степени, когда научный мир смог воспринять их. В то время, когда Араго писал свою речь, Френель уже сделал свое дело, но Гельмгольца нужно было еще ждать несколько десятилетий. Именно поэтому Араго полностью воздал должное лишь первой из великих идей Юнга, но не второй. То, что было в его силах, Араго сделал с любовью и изяществом.

Как дитя нашего поколения, я не без некоторого злорадства отмечаю при чтении речи Араго, что уже в те времена люди науки отнюдь не были свободны от национальной ограниченности, и поэтому в наше время мы не должны чувствовать себя подобно изгнанному из рая. Все же я надеюсь, что это обстоятельство не сможет нас полностью утешить.

Русский перевод речи Араго помещен в книге Ф. Араго «Биографии знаменитых астрономов, физиков и геометров», т. 2, стр. 31. СПб., 1860 г. В конце своего замечания Эйнштейн имеет в виду травлю, которой подвергся Юнг в связи с нападками на «Морской календарь» в английском парламенте (Юнг был редактором этого издания).

* Naturwiss., 1929, 17. Jahrgang, H. 20, 363.

ОЦЕНКА РАБОТ СИМОНА НЬЮКОМА*

Берлин 15.7.1926

Дорогая миссис Уитни,

Ссылаясь на нашу встречу в помещении Лиги наций, я постараюсь привести здесь те данные, которые Вас интересовали.

Дело жизни Вашего отца имеет огромное значение для астрономии. Его можно характеризовать следующим образом. Кеплер эмпирически открыл законы, которые управляют движением планеты вокруг Солнца в отсутствие других планет. Из них Ньютон вывел носящие его имя общие законы движения, а также закон тяготения. Законы Ньютона утверждают в совершенно общем виде, каким должно быть движение масс, если на них действуют только силы взаимного тяготения. Если имеется более двух масс, то расчеты движения за длительный период времени связаны с большими трудностями. Но в нашей солнечной системе эти взаимосвязи сказываются гораздо меньше, так как одно из тел, Солнце, значительно преобладает по массе. В случае одной планеты вычисления приводят к результатам, мало отличающимся от тех, которые получились бы, если бы существовали только эта планета и Солнце. Если бы не это обстоятельство, Кеплер не смог бы открыть свои законы, и трудно себе представить, по какому пути пошла бы астрономия.

Оставалась, однако, задача определения влияния, оказываемого на каждую отдельную планету всеми остальными планетами. Это астрономическая задача о «возмущениях»; за последние 100 лет она привлекла внимание наиболее выдающихся математиков и астрономов. Ваш отец был последним из великих ученых, которые, имея в виду эту задачу, весьма тщательно вычислили движения в солнечной системе. Эта задача настолько грандиозна, что лишь немногие могли самостоятельно и достаточно критически работать над ее решением.

* *Appreciation of Simon Newcomb. Sci., 1929, 69, 249.* (Письмо дочери С. Ньюкома.—*Ред.*)

Эта работа имеет большое значение для понимания законов природы, поскольку только таким путем можно установить достоверность законов Ньютона. Сравнение вычислений с фактическими данными показывает, что теория исключительно точно описывает эмпирические данные. Небольшое, выходящее за пределы ошибок измерений отклонение от вычисленной орбиты было обнаружено только для ближайшей к Солнцу планеты, Меркурия. В самом деле, наблюдения обнаружили медленное вращение большой оси орбиты в ее плоскости в направлении движения Меркурия. Это вращение нельзя объяснить за счет возмущений, вычисленных на основе законов Ньютона. Скорость этого вращения составляет примерно 40 угловых секунд за столетие, т. е. она настолько незначительна, что потребовалось бы не менее 30 000 лет для совершения полного оборота орбитальной оси. До сих пор все попытки объяснить удовлетворительно это отклонение в соответствии с теорией Ньютона были в основном безуспешными.

Затем, каких-нибудь десять лет назад, теоретические исследования в теории относительности показали, что законы Ньютона нельзя считать строго верными; они верны лишь в некотором приближении. Точные законы, полученные умозрительными методами, доказывают, что слабое вращение большой оси орбиты происходит при движении любой планеты, независимо от возмущений, вызванных другими планетами. Для всех планет, кроме Меркурия, это вращение слишком незначительно, чтобы его наблюдать. Что касается Меркурия, то расчет дал именно те сорок секунд за столетие, которые до сих пор вызвали так много недоумений.

Таким образом, теория относительности завершила работу по вычислению возмущений и привела к полному согласию между теорией и опытом.

С сердечным приветом,

Ваш А. Эйнштейн

30 августа 1935 г. на торжественном митинге, посвященном открытию памятника Ньюкому в Уоллесе (США), было оглашено письмо Эйнштейна, в котором он подчеркивал, что работам Ньюкома мы обязаны тем, что «очень малые отклонения от ньютоновских законов механики были обнаружены с неоспоримой точностью в движениях небесных тел». Это событие было описано в *New York Times* от 31 августа 1935 г.

**БЕСЕДА А. ЭЙНШТЕЙНА
НА СПЕЦИАЛЬНОЙ СЕССИИ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
В БУЭНОС-АЙРЕСЕ 16 АПРЕЛЯ 1925 Г.***

I. Вопросы д-ра Р. Г. Лойярте

1. *Можно ли получить индуцированную радиоактивность бомбардировкой вещества световыми квантами?*

2. *Надо ли понимать принцип эквивалентности между энергией и массой в том смысле, что масса может полностью превратиться в энергию? (Мнение автора отрицательно.)*

Эйнштейн. Д-р Лойярте уже говорил со мной по этому вопросу. Прежде всего можно сказать, что, возможно, существует искусственная радиоактивность вещества, возникающая под действием световых квантов; трудность обнаружения такого явления в случае его существования состоит в том, что эффект, который подлежит наблюдению, очень мал. Подтверждение этого эффекта затруднительно, однако возможно.

Лойярте. Я хочу в двух словах рассказать д-ру Эйнштейну о своих идеях. Имеется принцип эквивалентности механической и электромагнитной энергии. Например, если электрон с массой m , обладающий скоростью v , имеет кинетическую энергию $(1/2)mv^2$, то при соударении она исчезает и превращается в электромагнитную энергию $h\nu$. Поэтому волна с частотой ν может вырвать электроны, которые будут иметь скорость v в соответствии с тем же соотношением. В связи с этим, я утверждаю следующее: о процессах радиоактивного распада известно, что испускание β -частиц всегда сопровождается образованием γ -лучей; таким образом, если вещество бомбардируется рентгеновыми лучами достаточно долго, чтобы приблизиться к ядру, из него могут вырваться α -частицы. Эта идея и занимает меня.

* *Reception del doctor Alberto Einstein en la sesion especial de la Akademia el dia 16 de abril de 1925. Anales Sociedad Cientifica Argentina, 1929, 107, 337—347.*

Эйнштейн. Существует возможность получить эффект такой.

Лойярте. Хочу сделать разъяснения относительно второго вопроса. Я не понимаю достаточно ясно суть дела, т. е. тот смысл, который следует придавать этому вопросу. Поэтому я могу только спрашивать.

Эйнштейн. Действительно, полное превращение массы в энергию не является непосредственным следствием этого принципа, но я склонен полагать, что вся масса является энергией и, таким образом, в принципе вся масса может превратиться в энергию.

Мы еще не знаем достоверно законы природы и поэтому не имеем права сказать, что элементарный электрический заряд, будь он положительным или отрицательным, может исчезнуть. По-видимому, электрический заряд неуничтожим. Но вполне возможно, что существуют какие-то неизвестные нам процессы, которые бы позволили нам прийти к этому результату, согласно которому положительный электрический заряд мог бы превратиться в излучение; я не вижу в этом ничего невозможного. По-видимому, можно менять массу тела, т. е. превращать ее в энергию; но, естественно, мы еще очень мало знаем об электрических процессах, чтобы можно было сказать, может происходить такое превращение или нет. Наши знания в этой области настолько скудны, что мы не знаем, как может существовать протон, не разлетаясь на части под действием сил отталкивания между ними.

Лойярте. Если бы вся материя была электричеством, т. е. положительными и отрицательными зарядами, я думаю, нетрудно было бы понять это превращение. Однако опыт показывает, что в то время как электрон, т. е. отрицательный заряд, представляет собой чистое электричество, нельзя сказать то же самое о положительном заряде. Мне представляется, что положительные заряды связаны с веществом.

Эйнштейн. Я не думаю, что можно так говорить. Согласно закону атомных чисел, не существует ничего, кроме положительных зарядов и электронов, и весьма возможно, что в действительности так оно и есть. Необходимо считать, что элементарный положительный электрический заряд будет являться элементарным в том же смысле, что и заряд электрона. Идея о существовании материи, связанной с положительным электричеством, нелогична. Имеются только положительные и отрицательные заряды, и в совокупности эти элементарные заряды составляют материю.

Лойярте. Я думаю, что, по мнению физиков европейских школ, восходящему к Зоммерфельду, имеется существенное различие между положительными и отрицательными зарядами, т. е. следует предположить, что положительные заряды содержат нечто иное, отличное от отрицательных зарядов.

Эйнштейн. Это — только способ выражения.

II. Вопросы д-ра Х. Дамяновича

1. *Может ли изменяться тонкая структура спектральных линий под влиянием поля «химических сил»?*

2. *Позволят ли эти исследования и принципы химической динамики установить характеристику «поля химических сил», динамическое сравнение систем и значений их «сопротивлений»? Представляет ли интерес учет «времени действия» «химической силы»?*

Эйнштейн. Если мы имеем только одну молекулу или атом, то нельзя считать, что существует поле химических сил.

Дамянович. Я думаю, что каждый атом или молекула в процессе, сходном с процессом электрической индукции, создает поле химических сил и что имеются изменения в потенциальной энергии каждого атома или молекулы.

Эйнштейн. Если имеются два атома или молекулы, I и II, мы можем спросить себя, оказывает ли II влияние на излучение I. Я не знаю, создает ли взаимное влияние двух атомов или молекул поле химических сил, но если мы рассматриваем только один атом, то поля химических сил не существует.

Дамянович. Считаете вы, д-р Эйнштейн, что вокруг каждого атома или молекулы существует сфера химической активности?

Эйнштейн. Я не буду рассматривать отдельные молекулы. В случае двух атомов или молекул возникло бы влияние, которое зависело бы от относительного положения обоих атомов или молекул, т. е. смещение от присутствия одной молекулы по соседству с другой; ясно, что это влияние сильно зависело бы от относительного положения обоих атомов или молекул. Тогда в структуре спектральных линий, возможно, имелось бы изменение, которое некоторым образом зависело бы от комбинаций атомов. Проводились ли на этот счет эксперименты при больших давлениях?

Дамянович. Были проведены эксперименты при давлении 40 миллиметров со смесью H и Hg. В этом случае, согласно Дехардину, потенциал упругого соударения достигает 20 *e*.

Эйнштейн. И потенциал ионизации He изменяется в присутствии Hg?

Дамянович. Некоторые линии полностью исчезают при давлении 0,003. Можно думать, что имеется влияние активного He, вызванное молекулами, обязанными своим существованием компланарным и «скрецавающимся» атомам.

Эйнштейн. Я не понимаю, как могут исчезнуть некоторые линии без исчезновения всего спектра: мне кажется невозможным, чтобы в той или иной серии исчезали только некоторые линии.

Современные теории не могут объяснить эти вещи. Я не думаю, что можно обнаружить тонкую структуру, поскольку, надо думать, возможно существование класса очень неустойчивых молекул, и поскольку влияние другого атома или молекулы является очень слабым.

Дамянович. Нельзя ли считать, что в случае смеси Cl и He, кроме собственных линий каждого элемента, можно встретить комбинированные линии, вызванные химическим возбуждением атомов или молекул одного элемента вследствие присутствия атомов или молекул другого элемента до образования химического соединения, т. е. линий, возникающих от взаимного наличия одного и другого элемента?

Эйнштейн. Я весьма мало в это верю, но и не могу утверждать, что это невозможно.

Дамянович. Если один атом оказывает влияние на другой, то может ли измениться эксцентриситет эллиптических орбит под действием поля химических сил и может ли, например, в тонкой структуре линий проявляться влияние хлора?

Эйнштейн. Только в том случае, если можно наблюдать уширение.

Дамянович. А как быть тогда с дублетным расщеплением у водорода, подтверждающим теорию относительности?

Эйнштейн. Это явление очень трудно наблюдать в гелии.

Дамянович. Может ли диссоциация молекулы водорода вызвать появление поля химических сил, которое влияет на уширение линий?

Эйнштейн. Думаю, что можно наблюдать этот эффект, но не в чистом виде, что, мне кажется, наблюдать невозможно. Совершенно справедливо думать, что воздействие одного атома или молекулы может изменить положение какой-то спектральной линии, но поскольку все относительные изменения положения линии могут происходить как в одну, так и в другую стороны, мы, я повторяю, не можем наблюдать эффект в чистом виде.

Дамянович. Считаете ли вы, д-р Эйнштейн, что можно наблюдать спектроскопически, с большим разбросом, возможное соединение гелия с хлором?

Эйнштейн. Если такое соединение существует, то я считаю, расположение молекул будет таково, что эффект будет очень незначительным, чтобы его можно было наблюдать. Опыт можно поставить; я не утверждаю, что невозможно обнаружить эффект; но так как, в случае его существования, он будет весьма незначительным, наблюдать его крайне затруднительно.

Дамянович. Может ли служить зависимость эмиссии электронов при химических реакциях от времени для сравнения химических систем и для оценки значений химических сопротивлений?

Эйнштейн. Вопрос не ясен. Вы сказали, что в химических реакциях соединяются атомы A и B и что происходит эмиссия электронов, но это

происходит не во всех химических реакциях: необходимо учитывать, что в этом классе явлений могут существовать вторичные процессы. Взаимодействия различных молекул могут быть настолько разнообразными и различными, что только в небольшом числе случаев можно констатировать факт эмиссии электронов. С другой стороны, я не считаю, что эмиссия электронов будет иметь место прямо в химических реакциях; мне кажется, что именно вторичные процессы являются решающими для эмиссии электронов.

Дамянович. Если мы имеем термодинамическое определение молекулы для сравнения химических сил и если мы рассматриваем химическое поле, окружающее атомы и молекулы, для сравнения двух различных систем, то нужно учитывать время действия сил. Таким образом, сравнивая эти результаты с результатами, полученными глобально для грамм-молекулы, и учитывая «химическое сопротивление», которое должны преодолеть обе рассматриваемые системы, в предположении, что они реагируют с различными скоростями, можно измерить время действия каждой из сил, действующих в системах. Эта концепция позволила бы дополнить динамическое сравнение химических систем.

Эйнштейн. В квантовой теории мы имеем:

$$E = h\nu \text{ и } \nu = \frac{E}{h},$$

где ν — величина, обратная времени. Если бы мы знали природу кванта, то могли бы понять физический смысл времени $t = h/E$. Я не знаю, применима ли эта концепция к химическим реакциям: может быть, применима, а может быть, и нет.

Дамянович. Но можно ли прийти к этим выводам?

Эйнштейн. Не существует возможности рассчитать энергию как функцию времени.

Дамянович. Если взять время как основу сравнения двух систем, то существует ли связь между энергией и временем? Предположим, что одна из систем испытывает сопротивление, а другая нет; для этих систем Нернст, говоря о сопротивлении, принимает выражение F/R , которое аналогично закону Ома.

Эйнштейн. Это выражение является определением R .

Дамянович. Сравнивая различные системы, мы могли бы прийти к R .

Эйнштейн. Естественно, если бы мы могли рассчитать или изменить R , это было бы большим достижением.

Дамянович. Есть ли эксперименты на этот счет?

Эйнштейн. Очень трудно, если невозможно, рассчитать R по данным о скорости реакций.

Дамянович. Энергия $E = h\nu$, которая необходима для перехода молекулы из нейтрального состояния в активное, может послужить основой для расчетов.

Эйнштейн. С вашей манерой мышления очень трудно прийти к какому-либо определенному результату.

III. Вопросы д-ра Т. Иснарди

Можно ли вычислить с достаточной точностью напряженность поля тяготения, создаваемого движением гироскопа относительно неподвижного наблюдателя в инерциальной системе? Может ли этот расчет иметь экспериментальное подтверждение?

Эйнштейн. Напряженность поля вычислить можно.

Иснарди. Можно ли продемонстрировать это экспериментально?

Эйнштейн. К сожалению, это невозможно. Если бы гироскоп находился на полюсе и не участвовал бы во вращении Земли, то, согласно общей теории относительности, влияние двух полей вращения было бы настолько малым, что его нельзя было бы экспериментально подтвердить.

Иснарди. Думаю, что подобные эксперименты с отрицательным результатом уже ставились.

Эйнштейн. Безусловно. Результат является отрицательным.

IV. Вопросы д-ра Е. Лоэдель Палумбо

Пусть имеется пространственно-временной элемент в гравитационном поле, создаваемом точечной массой, находящейся в начале полярных координат r , D , φ :

$$ds^2 = r^2 dt^2 - r^2 (dD^2 + \sin^2 D d\varphi^2) - \frac{1}{r} dr^2.$$

Положим здесь, что $D = \text{const}$ и $\varphi = \text{const}$. Можно ли тогда найти представление двумерной пространственно-временной поверхности в трехмерном евклидовом пространстве?

Это приводит к следующей системе уравнений в частных производных (проблема вложения неевклидова многообразия n измерений в другое, евклидово многообразие N измерений). Если предположить пространство евклидовым с ортогональными координатными осями x , y , z , то пространственный элемент будет иметь вид:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2,$$

где x , y , z — некоторые функции t и r :

$$x = X(t, r),$$

$$y = Y(t, r),$$

$$z = Z(t, r),$$

для которых имеем уравнения:

$$\left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)^2 = \gamma = 1 - \frac{2km}{r},$$

$$\left(\frac{\partial x}{\partial r}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial r}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial r}\right)^2 = -\frac{1}{\gamma} = -\frac{1}{1 - \frac{2km}{r}},$$

$$\frac{\partial x}{\partial t} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial y}{\partial t} \frac{\partial y}{\partial r} + \frac{\partial z}{\partial t} \frac{\partial z}{\partial r} = 0.$$

Лоэдель Палумбо. Известно ли решение этой системы дифференциальных уравнений?

Эйнштейн. Таких результатов пока нет. Исследование формы поверхности в пространстве-времени было бы очень интересно.

16 апреля 1925 г. Национальная академия точных наук в Буэнос-Айресе устроила прием в честь Эйнштейна, на котором ему был вручен диплом почетного академика. На этом приеме Эйнштейн ответил на вопросы. Запись беседы вместе с описанием истории приглашения была опубликована через четыре года в *Анналах Академии*.

ИОГАНН КЕПЛЕР *

В наше беспокойное и полное забот время, когда людские дела мало радуют, особенно приятно вспомнить о таком спокойном человеке, каким был великий Кеплер. Он жил в эпоху, когда еще не было уверенности в существовании некоторой общей закономерности для всех явлений природы. Какой глубокой была у него вера в такую закономерность, если, работая в одиночестве, никем не поддерживаемый и непонятый, он на протяжении многих десятков лет черпал в ней силы для трудного и кропотливого эмпирического исследования движения планет и математических законов этого движения! Достоинно сохранить память о нем — это значит возможно яснее представить себе поставленную им задачу и этапы ее решения.

Коперник раскрыл глаза выдающимся умам, показав, что наилучший способ получить ясное представление о кажущихся движениях планет на небе состоит в рассмотрении этого движения как обращения вокруг предполагаемого неподвижным Солнца. Если бы планеты двигались равномерно по окружности вокруг Солнца как центра, то было бы сравнительно легко определить, как эти движения должны выглядеть с Земли. Но так как при этом мы имеем дело с более сложными явлениями, то и задача была намного труднее. Вначале нужно было определить эти движения эмпирически, из наблюдений Тихо Браге. Только после этого можно было думать об установлении общих законов, которым подчиняются эти движения. Чтобы постигнуть, какой сложной была уже задача определения истинного вращения, нужно хорошо уяснить себе следующее обстоятельство: мы всегда наблюдаем не истинное положение планеты в определенный момент времени, а только направление, в котором она видна с Земли, совершающей, в свою очередь, неизвестного рода движение вокруг Солнца. Трудности казались почти непреодолимыми.

Кеплер должен был найти способ приведения в порядок этого хаоса. Он отдавал себе отчет в том, что прежде всего нужно попытаться определить движение самой Земли.

* *Johannes Kepler. Frankfurter Zeitung (9 Nov. 1930), 3—4.*

Это было бы просто невозможно сделать, если бы кроме Солнца, Земли и неподвижных звезд, не существовало других планет. Если бы последних не было, то из опытов можно было бы определить только годичное изменение направления Солнце — Земля (т. е. видимое движение Солнца относительно неподвижных звезд). Можно было бы установить, что это направление всегда лежит в неизменной по отношению к неподвижным звездам плоскости, по крайней мере с достигаемой тогда точностью наблюдений, производимых без применения телескопа. Можно было также определить, и каким образом прямая Солнце — Земля вращается вокруг Солнца. Было установлено, что угловая скорость этого движения в течение года меняется по определенному закону.

Но этого было недостаточно, так как оставался неизвестным закон годичного изменения расстояния Солнце — Земля. Только после установления этого закона можно было найти истинную орбиту Земли и способ ее прохождения.

Кеплер нашел замечательный выход из этой дилеммы. Наблюдая Солнце, можно было установить, что хотя видимый путь этого светила на фоне неподвижных звезд обладает в разные времена различной скоростью, угловая скорость этого движения в одни и те же моменты астрономического года всегда одинакова. Следовательно, скорость вращения линии Земля — Солнце имела одно и то же значение, и была направлена в одну и ту же область неба неподвижных звезд. Это вовсе не было очевидно априори. Но сторонники системы Коперника были почти убеждены, что такое утверждение остается справедливым и для орбит других планет.

Это облегчало задачу. Но как определить действительную форму орбиты Земли? Представим себе, что где-то в плоскости этой орбиты расположен ярко светящийся фонарь M , о котором известно, что он длительное время сохраняет свое положение неизменным. Такой фонарь может служить своеобразным триангуляционным пунктом, так как жители Земли могут его визировать в любое время года. Фонарь M расположен от Солнца дальше, чем Земля. С помощью такого фонаря можно определить орбиту Земли следующим способом.

Ежегодно в определенный момент времени Земля E находится точно на прямой, соединяющей Солнце S с фонарем M . Если в этот момент визировать с Земли направление на фонарь M , то получим направление SM (Солнце — фонарь). Допустим, что последнее отмечено на небесном своде. Представим себе теперь положение Земли в другой момент. Если и Солнце S , и фонарь M видны с Земли E , то в треугольнике SEM известен угол E . Раньше мы раз и навсегда определили направление прямой SM относительно неподвижных звезд. Теперь прямым наблюдением Солнца можно определить направление SE относительно неподвижных звезд. Таким образом, в треугольнике SEM становится известным и угол S . Следовательно,

взяв произвольную величину основания SM , можно строить на бумаге треугольник SEM по двум известным углам. Это построение можно повторить в течение года несколько раз. На рисунке всякий раз получим соответствующее определенной дате местоположение Земли E относительно раз и навсегда заданного базиса SM . Орбита определяется, таким образом, эмпирически; конечно, с точностью до произвольной абсолютной величины.

Но откуда — спросите вы — Кеплер взял фонарь M ? Тут ему помогли его гений и добрая воля природы. Существовала, например, планета Марс, для которой была известна продолжительность года, т. е. время обращения вокруг Солнца. В некоторый момент может оказаться, что Солнце, Земля и Марс располагаются точно на одной прямой. Такое положение Марса повторяется через один, два и т. д. марсианских года. Потому что Марс описывает замкнутый путь. В эти известные моменты SM всегда одинаково, тогда как Земля находится каждый раз в другой точке своей орбиты. Следовательно, наблюдения Солнца и Марса в эти моменты дают способ определения истинной орбиты Земли, причем в эти моменты Марс играл роль указанного выше фонаря! Так Кеплер нашел истинную форму орбиты Земли и характер движения Земли по этой орбите. Все мы, кто родились позже: европейцы, немцы, а тем более швабы, должны ему поклоняться и воздавать хвалу.

Как только орбита Земли была эмпирически найдена, стало возможным определить истинное положение и величину отрезка SE . В принципе для Кеплера уже не представляло труда установить по наблюдениям планетных орбит и движения планет. Но это был все-таки колоссальный труд, особенно если учесть состояние математики того времени.

Оставалось решить вторую часть задачи: орбиты были известны из наблюдений, теперь надо было найти их законы по результатам опытов. Делать определенное допущение о виде орбитальных кривых, затем проверять его на огромном эмпирическом материале! Если результаты не совпадали, то выдумывать новую гипотезу и вновь проверять! После бесчисленных попыток Кеплер пришел к следующему выводу: орбита представляет собой эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце. Он нашел и закон, по которому меняется скорость в течение одного года: отрезок Солнце — планета в равные промежутки времени описывает равные площади. Наконец, он нашел, что квадраты времен обращения относятся как кубы осей эллипсов. На решение этих задач ушла вся жизнь Кеплера.

К восхищению перед этим замечательным человеком добавляется еще чувство восхищения и благоговения, но относящееся не к человеку, а к загадочной гармонии природы, которая нас породила. Еще в древности люди придумали кривые, которые соответствуют простейшим законам.

Наряду с прямой и окружностью среди них были эллипс и гипербола. Последние мы видим реализованными в орбитах небесных тел, во всяком случае с хорошим приближением.

Представляется, что человеческий разум должен свободно строить формы, прежде чем подтвердится их действительное существование. Замечательное произведение всей жизни Кеплера особенно ярко показывает, что познание не может расцвести из голой эмпирии. Такой расцвет возможен только из сравнения того, что придумано, с тем, что наблюдается.

Статья включена в сб. «Mein Weltbild». Английский перевод опубликован в сб. «Ideas and Opinions».

К оценке Кеплера Эйнштейн возвращался еще раз. Ср. статью 80.

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ АНТОНА РАЙЗЕРА „АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН“ *

Автор этой книги принадлежит к числу тех, кто близко знает меня, мои стремления, мысли, убеждения, знает меня, так сказать, в комнатных туфлях ¹. Я прочитал ее главным образом для того, чтобы удовлетворить собственное любопытство. Мной руководило отнюдь не желание узнать, что я собой представляю или на кого я похож. Гораздо в большей степени меня интересовало, каким я предстану в глазах другого человека.

Я обнаружил, что факты изложены в этой книге с должной точностью, а вся характеристика в целом настолько положительна, насколько можно ее дать человеку, который прилагает столь большие усилия, чтобы изменить себя, и которому это до такой степени не удастся, как мне.

Но что, по всей видимости, не было замечено, так это то иррациональное, противоречивое, нелепое и, в общем, даже нездоровое, что неисчерпаемо изобретательная природа вложила в одного индивидуума, сделав это скорее всего ради собственного развлечения. Но выделить все подобные вещи можно только в горниле собственного разума.

Вернее сказать, это следовало бы сделать, ибо в противном случае, как можно было бы преодолеть отчуждение, существующее между людьми?

В качестве эпиграфа к книге Райзера взяты слова Эйнштейна:

Человеку, который открыл идею, позволяющую нам сделать еще один, пусть даже самый маленький шаг в глубь извечных тайн природы, гарантирована всеобщая благосклонность. Если же он к тому же ощущает самую горячую поддержку, любовь и признательность своих современников, то на его долю выпадает, по-видимому, больше счастья, чем человек может вынести.

* *Preface*. В кн.: Anton Reiser. Albert Einstein. New York, 1930.

¹ Намек на книгу секретаря А. Франса Ж.-Ж. Бруссона «Анатоль Франс в туфлях и халате». Русский перевод издан в 1925 г.— *Прим. ред.*

РЕЛИГИЯ И НАУКА *

Все, что сделано и придумано людьми, связано с удовлетворением потребностей и утолением боли. Это следует постоянно иметь в виду, когда хотят понять религиозные движения и их развитие. Чувства и желания лежат в основе всех человеческих стремлений и достижений, какими возвышенными они бы ни казались.

Какие же чувства и потребности привели людей к религиозным идеям и вере в самом широком смысле этого слова? Если мы хоть немного поразмыслим над этим, то вскоре поймем, что у колыбели религиозных идей и переживаний стоят самые различные чувства. У первобытных людей религиозные представления вызывает прежде всего страх, страх перед голодом, дикими зверями, болезнями, смертью. Так как на этой ступени бытия понимание причинных взаимосвязей обычно стоит на крайне низком уровне, человеческий разум создает для себя более или менее аналогичное существо, от воли и действий которого зависят страшные для него явления. После этого начинают думать о том, чтобы умиротворить это существо. Для этого производят определенные действия и приносят жертвы, которые, согласно передаваемым из поколения в поколение верованиям, способствуют умиротворению этого существа, т. е. делают его более милостивым по отношению к человеку. В этом смысле я говорю о религии страха. Стабилизации этой религии, но не ее возникновению, в значительной степени способствует образование особой касты жрецов, берущих на себя роль посредников между людьми и теми существами, которых люди боятся, и основывающих на этом свою гегемонию. Часто вождь или правитель, чье положение определяется другими факторами, или же какой-нибудь привилегированный класс сочетает светскую власть с функциями жрецов, либо же правящая политическая каста объединяется с кастой жрецов для достижения общих интересов.

* *Religion und Wissenschaft*. Berliner Tageblatt, 11 Nov. 1930. (Статья напечатана также в «New York Times Magazin», 9 nov. 1930 и в сб. «Mein Weltbild», 1934, 16—20.— *Ред.*)

Другим источником религиозных образов служат общественные чувства. Отец, мать, вожди большого человеческого коллектива смертны и могут ошибаться. Стремление обрести руководство, любовь и поддержку служит толчком к созданию социальной и моральной концепции бога. Божье провидение хранит человека, властвует над его судьбой, вознаграждает и карает его. Бог, в соответствии с представлениями людей, является хранителем жизни племени, человечества, да и жизни в самом широком смысле этого слова, утешителем в несчастье и неудовлетворенном желании, хранителем душ умерших. Такова социальная, или моральная, концепция бога.

Уже в священном писании можно проследить превращение религии страха в моральную религию. Продолжение этой эволюции можно обнаружить в Новом завете. Религии всех культурных народов, в частности народов Востока, по сути дела являются моральными религиями. В жизни народа переход от религии страха к моральной религии означает важный прогресс. Следует предостеречь от неправильного представления о том, будто религии первобытных людей — это религии страха в чистом виде, а религии цивилизованных народов — это моральные религии также в чистом виде. И те, и другие представляют собой нечто смешанное, хотя на более высоких ступенях развития общественной жизни моральная религия преобладает.

Общим для всех этих типов является антропоморфный характер идеи бога. Как правило, этот уровень удается превзойти лишь отдельным особенно выдающимся личностям и особенно высоко развитым обществам. Но и у тех, и у других существует еще и третья ступень религиозного чувства, хотя в чистом виде она встречается редко. Я назову эту ступень космическим религиозным чувством. Тому, кто чужд этому чувству, очень трудно объяснить, в чем оно состоит, тем более, что антропоморфной концепции бога, соответствующей ему, не существует.

Индивидуум ощущает ничтожность человеческих желаний и целей, с одной стороны, и возвышенность и чудесный порядок, проявляющийся в природе и в мире идей, — с другой. Он начинает рассматривать свое существование как своего рода тюремное заключение и лишь всю Вселенную в целом воспринимает как нечто единое и осмысленное. Зачатки космического религиозного чувства можно обнаружить на более ранних ступенях развития, например, в некоторых псалмах Давида и книгах пророков Ветхого завета. Гораздо более сильный элемент космического религиозного чувства, как учат нас работы Шопенгауэра, имеется в буддизме.

Религиозные гении всех времен были отмечены этим космическим религиозным чувством, не ведающим ни догм, ни бога, сотворенного по образу и подобию человека. Поэтому не может быть церкви, чье основное

учение строилось бы на космическом религиозном чувстве. Отсюда следует, что во все времена именно среди еретиков находились люди, в весьма значительной степени подверженные этому чувству, которые своим современникам часто казались атеистами, а иногда и святыми. С этой точки зрения люди, подобные Демокриту, Франциску Ассизскому и Спинозе, имеют много общего.

Как же может космическое религиозное чувство передаваться от человека к человеку, если оно не приводит ни к сколько-нибудь завершенной концепции бога, ни к теологии? Мне кажется, что в пробуждении и поддержании этого чувства у тех, кто способен его переживать, и состоит важнейшая функция искусства и науки.

Итак, мы подошли к рассмотрению отношений между наукой и религией с точки зрения, весьма отличающейся от обычной. Если эти отношения рассматривать в историческом плане, то науку и религию по очевидной причине придется считать непримиримыми противоположностями. Для того, кто всецело убежден в универсальности действия закона причинности, идея о существе, способном вмешиваться в ход мировых событий, абсолютно невозможна. Разумеется, если принимать гипотезу причинности всерьез. Такой человек ничуть не нуждается в религии страха. Социальная, или моральная, религия также не нужна ему. Для него бог, вознаграждающий за заслуги и карающий за грехи, немалым по той простой причине, что поступки людей определяются внешней и внутренней необходимостью, вследствие чего перед богом люди могут отвечать за свои деяния не более, чем неодушевленный предмет за то движение, в которое он оказывается вовлеченным. На этом основании науку обвиняют, хотя и несправедливо, в том, что она подрывала мораль. На самом же деле этическое поведение человека должно основываться на сочувствии, образовании и общественных связях. Никакой религиозной основы для этого не требуется. Было бы очень скверно для людей, если бы их можно было удерживать лишь силой страха и кары и надеждой на воздаяние по заслугам после смерти.

Нетрудно понять, почему церковь различных направлений всегда боролась с наукой и преследовала ее приверженцев. Но, с другой стороны, я утверждаю, что космическое религиозное чувство является сильнейшей и благороднейшей из пружин научного исследования. Только те, кто сможет по достоинству оценить чудовищные усилия и, кроме того, самоотверженность, без которых не могла бы появиться ни одна научная работа, открывающая новые пути, сумеют понять, каким сильным должно быть чувство, способное само по себе вызвать к жизни работу, столь далекую от обычной практической жизни. Какой глубокой уверенностью в рациональном устройстве мира и какой жаждой познания даже мельчайших отблесков рациональности, проявляющейся в этом мире, должны были

обладать Кеплер и Ньютон, если она позволила им затратить многие годы упорного труда на распутывание основных принципов небесной механики! Тем же, кто судит о научном исследовании главным образом по его результатам, нетрудно составить совершенно неверное представление о духовном мире людей, которые, находясь в скептически относящемся к ним окружении, сумели указать путь своим единомышленникам, рассеянными по всем землям и странам. Только тот, кто сам посвятил свою жизнь аналогичным целям, сумеет понять, что вдохновляет таких людей и дает им силы сохранять верность поставленной перед собой цели, несмотря на бесчисленные неудачи. Люди такого склада черпают силу в космическом религиозном чувстве. Один из наших современников сказал, и не без основания, что в наш материалистический век серьезными учеными могут быть только глубоко религиозные люди.

Эта статья интересна как обоснование ученым, изучающим материальный мир, своего разрыва с официальной религией. Понятие космической религии сводится у Эйнштейна к вере в существование всеобщих законов природы и их познаваемости. В этом отношении важна его дискуссия с Р. Тагором (статья 40), его выступление (статья 55) и, особенно, письмо к Соловину (стр. 564).

ПРИРОДА РЕАЛЬНОСТИ *

Беседа с Рабиндранатом Тагором ¹

Эйнштейн. Вы верите в бога, изолированного от мира?

Тагор. Не изолированного. Неисчерпаемая личность человека постигает Вселенную. Ничего непостижимого для человеческой личности быть не может. Это доказывает, что истина Вселенной является человеческой истиной.

Чтобы пояснить свою мысль, я воспользуюсь одним научным фактом. Материя состоит из протонов и электронов, между которыми ничего нет, но материя может казаться сплошной, без связей в пространстве, объединяющих отдельные электроны и протоны. Точно так же человечество состоит из индивидуумов, но между ними существует взаимосвязь человеческих отношений, придающих человеческому обществу единство живого организма. Вселенная в целом так же связана с нами, как и индивидуум. Это — Вселенная человека.

Высказанную идею я проследил в искусстве, литературе и религиозном сознании человека.

Эйнштейн. Существуют две различные концепции относительно природы Вселенной:

- 1) мир как единое целое, зависящее от человека;
- 2) мир как реальность, не зависящая от человеческого разума.

Тагор. Когда наша Вселенная находится в гармонии с вечным человеком, мы постигаем ее как истину и ощущаем ее как прекрасное.

Эйнштейн. Но это — чисто человеческая концепция Вселенной.

Тагор. Другой концепции не может быть. Этот мир — мир человека. Научные представления о нем — представления ученого. Поэтому мир отдельно от нас не существует. Наш мир относителен, его реальность зависит от нашего сознания. Существует некий стандарт разумного и прекрас-

* *The Nature of Reality*. Modern Review (Calcutta), 1931, XLIX, 42—43.

¹ Беседа состоялась 14 июля 1930 г. на даче Эйнштейна в Капуте под Берлином.—
Прим. ред.

ного, придающий этому миру достоверность, — стандарт Вечного Человека, чьи ощущения совпадают с нашими ощущениями.

Эйнштейн. Ваш Вечный Человек — это воплощение сущности человека.

Тагор. Да, вечной сущности. Мы должны познавать ее посредством своих эмоций и деятельности. Мы познаем Высшего Человека, не обладающего свойственной нам ограниченностью. Наука занимается рассмотрением того, что не ограничено отдельной личностью, она является величным человеческим миром истин. Религия постигает эти истины и устанавливает их связь с нашими более глубокими потребностями; наше индивидуальное осознание истины приобретает общую значимость. Религия наделяет истины ценностью, и мы постигаем истину, ощущая свою гармонию с ней.

Эйнштейн. Но это значит, что истина или прекрасное не являются независимыми от человека.

Тагор. Не являются.

Эйнштейн. Если бы людей вдруг не стало, то Аполлон Бельведерский перестал бы быть прекрасным?

Тагор. Да!

Эйнштейн. Я согласен подобной концепцией прекрасного, но не могу согласиться с концепцией истины.

Тагор. Почему? Ведь истина познается человеком.

Эйнштейн. Я не могу доказать правильность моей концепции, но это — моя религия.

Тагор. Прекрасное заключено в идеале совершенной гармонии, которая воплощена в универсальном человеке; истина есть совершенное постижение универсального разума. Мы, индивидуумы, приближаемся к истине, совершая мелкие и крупные ошибки, накапливая опыт, просвещая свой разум, ибо каким же еще образом мы познаем истину?

Эйнштейн. Я не могу доказать, что научную истину следует считать истиной, справедливой независимо от человечества, но в этом я твердо убежден. Теорема Пифагора в геометрии устанавливает нечто приблизительно верное, независимо от существования человека. Во всяком случае, если есть реальность, не зависящая от человека, то должна быть истина, отвечающая этой реальности, и отрицание первой влечет за собой отрицание последней.

Тагор. Истина, воплощенная в Универсальном Человеке, по существу должна быть человеческой, ибо в противном случае все, что мы, индивидуумы, могли бы познать, никогда нельзя было бы назвать истиной, по крайней мере научной истиной, к которой мы можем приближаться с помощью логических процессов, иначе говоря, посредством органа мышления, который является человеческим органом. Согласно индийской философии, существует Брахма, абсолютная истина, которую нельзя постичь

разумом отдельного индивидуума или описать словами. Она познается лишь путем полного погружения индивидуума в бесконечность. Такая истина не может принадлежать науке. Природа же той истины, о которой мы говорим, носит внешний характер, т. е. она представляет собой то, что представляется истинным человеческому разуму, и поэтому эта истина — человеческая. Ее можно назвать *Майей*, или иллюзией.

Эйнштейн. В соответствии с Вашей концепцией, которая, может быть, является концепцией индийской философии, мы имеем дело с иллюзией не отдельной личности, а всего человечества в целом.

Тарор. В науке мы подчиняемся дисциплине, отбрасываем все ограничения, налагаемые нашим личным разумом, и таким образом приходим к постижению истины, воплощенной в разуме Универсального Человека.

Эйнштейн. Зависит ли истина от нашего сознания? В этом состоит проблема.

Тарор. То, что мы называем истиной, заключается в рациональной гармонии между субъективным и объективным аспектом реальности, каждый из которых принадлежит Универсальному Человеку.

Эйнштейн. Даже в нашей повседневной жизни мы вынуждены приписывать используемым нами предметам реальность, не зависящую от человека. Мы делаем это для того, чтобы разумным образом установить взаимосвязь между данными наших органов чувств. Например, этот стол останется на своем месте даже в том случае, если в доме никого не будет.

Тарор. Да, стол будет недоступен индивидуальному, но не универсальному разуму. Стол, который воспринимаю я, может быть воспринят разумом того же рода, что и мой.

Эйнштейн. Нашу естественную точку зрения относительно существования истины, не зависящей от человека, нельзя ни объяснить, ни доказать, но в нее верят все, даже первобытные люди. Мы приписываем истине сверхчеловеческую объективность. Эта реальность, не зависящая от нашего существования, нашего опыта, нашего разума, необходима нам, хотя мы и не можем сказать, что она означает.

Тарор. Наука доказала, что стол как твердое тело — это одна лишь видимость и, следовательно, то, что человеческий разум воспринимает как стол, не существовало, если бы не было человеческого разума. В то же время следует признать и то, что элементарная физическая реальность стола представляет собой не что иное, как множество отдельных вращающихся центров электрических сил и, следовательно, также принадлежит человеческому разуму.

В процессе постижения истины происходит извечный конфликт между универсальным человеческим разумом и ограниченным разумом отдельного индивидуума. Непрекращающийся процесс постижения идет в нашей науке, философии, в нашей этике. Во всяком случае, если бы и была

какая-нибудь абсолютная истина, не зависящая от человека, то для нас она была бы абсолютно не существующей.

Нетрудно представить себе разум, для которого последовательность событий развивается не в пространстве, а только во времени, подобно последовательности нот в музыке. Для такого разума концепция реальности будет сродни музыкальной реальности, для которой геометрия Пифагора лишена всякого смысла. Существует реальность бумаги, бесконечно далекая от реальности литературы. Для разума моли, поедающей бумагу, литература абсолютно не существует, но для разума человека литература как истина имеет большую ценность, чем сама бумага. Точно так же, если существует какая-нибудь истина, не находящаяся в рациональном или чувственном отношении к человеческому разуму, она будет оставаться ничем до тех пор, пока мы будем существами с разумом человека.

Эйнштейн. В таком случае я более религиозен, чем вы.

Тагор. Моя религия заключается в познании Вечного Человека, Универсального человеческого духа, в моем собственном существе. Она была темой моих гиббертовских лекций, которые я назвал «Религия человека».

ТОМАС АЛЬВА ЭДИСОН *

Со смертью Эдисона мы потеряли одного из наиболее выдающихся изобретателей. Его технические изобретения позволяют облегчить и украсить нашу повседневную жизнь. Изобретательский дух озарил ярким светом и его собственную жизнь, и наше существование. С благодарностью мы принимаем его наследие, и не только как дар гения, но и как переданное в наши руки поручение. На новое поколение падает задача нахождения путей правильного использования переданного нам дара. Только решив эту задачу, новое поколение окажется достойным этого наследия и действительно станет счастливее предыдущих поколений.

Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

* *Thomas Alva Edison* (1847—1931). New York Times (19 Oct. 1931), 1. (См. также: Science, 74, 404—405.— *Ред.*).

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ Р. ДЕ ВИЛЛАМИЛЯ „НЬЮТОН КАК ЧЕЛОВЕК“*

Полковник де Вилламиль, упорство и изобретательность которого позволили ему открыть для нас важные реликвии: библиотеку Ньютона, полный каталог книг, принадлежавших великому ученому, и опись всего его имущества,— заслуживает благодарности и поздравлений физиков всего мира.

Эти находки позволяют нарисовать гораздо более реалистическую картину жизни и работы человека, чем старая легенда о яблоке, упавшем в саду.

Было бы чрезвычайно интересно проследить, в какой мере Ньютон черпал вдохновение из трудов тех авторов, чьи работы имелись в его библиотеке, и оценить это влияние. На мысль о таком исследовании невольно наводят как те книги, которые входят в его библиотеку, так и те, которые могли бы там быть. Такое исследование было бы неопенимо для тех, кто хотел бы увидеть Ньютона в правильной перспективе. Что же касается истории математики, то у специалистов глубокий интерес вызовет предположение де Вилламиля о том, что Ньютон явился создателем вариационного исчисления. В пользу этого предположения свидетельствует приоритет публикаций Ньютона перед трудами Лагранжа. Это предположение могло бы послужить решению проблемы о том, как Ньютон пришел к некоторым из полученных им результатов, и заслуживает поэтому тщательного критического рассмотрения.

Я надеюсь, что успех де Вилламиля побудит других исследователей заняться розысками сокровищ, которые, может быть, все еще ожидают открытия в частных библиотеках, неизвестных широкой публике. Такие открытия с каждым днем встречаются все реже и реже. Исследование де Вилламиля позволило своевременно предотвратить распыление собрания книг, которое вряд ли удалось бы собрать заново, если бы эти книги разошлись по разным библиотекам. Публикуя каталог библиотеки и опись имущества Ньютона, де Вилламиль сохранил ценный фактический материал для всех будущих поколений исследователей.

* *Foreword.* В кн.: R. de Villamil. Newton, the Man. London, Knox, 1931.

ВЛИЯНИЕ МАКСВЕЛЛА НА РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАЛЬНОСТИ *

Вера в существование внешнего мира, независимого от воспринимающего субъекта, лежит в основе всего естествознания. Но так как чувственное восприятие дает информацию об этом внешнем мире, или о «физической реальности», опосредствованно, мы можем охватить последнюю только путем рассуждений. Из этого следует, что наши представления о физической реальности никогда не могут быть окончательными. Мы всегда должны быть готовы изменить эти представления, т. е. изменить аксиоматическую базу физики, чтобы обосновать факты восприятия логически наиболее совершенным образом. И действительно, беглый взгляд на развитие физики показывает, что ее аксиоматическая основа с течением времени испытывает глубокие изменения.

Со времени обоснования теоретической физики Ньютоном наибольшие изменения в ее теоретических основах, другими словами, в нашем представлении о структуре реальности, были достигнуты благодаря исследованиям электромагнитных явлений Фарадеем и Максвеллом. В дальнейшем мы попытаемся изложить это точнее, учитывая как предшествующее, так и позднейшее развитие.

Согласно ньютоновой системе, физическая реальность характеризуется понятиями *пространства, времени, материальной точки и силы* (взаимодействия материальных точек). В ньютоновой концепции под физическими событиями следует понимать движение материальных точек в пространстве, управляемое неизменными законами. Материальная точка есть единственный способ нашего представления реальности, поскольку реальное способно к изменению. Понятию материальной точки соответствуют обычные воспринимаемые нами тела; материальную точку мыслят как ана-

* *Maxwell's Influence on the Development of the Conception of Physical Reality.* В сб.: «James Clerk Maxwell: A Commemoration Volume». Cambridge University Press, 1931. [См. также: «Mein Weltbild». Europa Verlag, 1953; «Ideas and Opinions», London, 1956. Статья написана к 100-летию со дня рождения Максвелла.— *Ред.*]

логию подвижных тел, лишенных таких признаков, как протяженность, форма, ориентация в пространстве, и всех «внутренних» свойств, за исключением только инерции и перемещения, и с добавлением понятия силы. Материальные тела, которые психологически привели к образованию понятия «материальной точки», должны были теперь сами рассматриваться как системы материальных точек. Следует заметить, что эта теоретическая система есть в сущности система атомистическая и механистическая. Все события должны были толковаться чисто механистически, т. е. просто как движение материальных точек в соответствии с законами Ньютона.

Наиболее неудовлетворительная сторона этой теоретической системы, если отвлечься от вновь обсуждавшихся недавно трудностей, связанных с понятием «абсолютного пространства», особенно ярко проявлялась в учении о свете, который Ньютон, будучи последовательным, также, считал состоящим из материальных частиц. Уже в то время весьма жгучим был вопрос: что же происходит с материальными частицами, составляющими свет, в случае поглощения последнего? Далее, вообще нельзя было считать удовлетворительным, когда в рассмотрение вводились материальные частицы совершенно различных видов, которые приходилось допускать, чтобы описать соответственно весомую материю и свет. Позднее к ним были добавлены электрические корпскуллы, составляющие третий вид частиц, обладающие опять-таки совершенно иными основными характеристиками. Кроме того, слабым местом в основах теории было то, что силы взаимодействия, определяющие все происходящие процессы, должны были приниматься совершенно произвольно, гипотетически. И все же эта концепция реальности давала многое. Как же случилось, что люди почувствовали себя вынужденными отказаться от нее?

Чтобы придать своей системе математическую форму, Ньютон должен был изобрести понятие производной и установить законы движения в виде дифференциальных уравнений с полными производными. По-видимому, это был величайший прогресс в мышлении, который когда-либо был достигнут одним человеком. Дифференциальные уравнения в частных производных для этой цели не были необходимы, и Ньютон не нашел им систематического применения. Но они были необходимы для формулировки механики деформируемых тел; это было связано с тем, что в подобных задачах предположение о способе построения этих тел из материальных частиц вначале не играло никакой роли.

Таким образом, система дифференциальных уравнений в частных производных входила в теоретическую физику как служанка, однако постепенно она стала в ней госпожой. Это началось в XIX столетии, когда под давлением эмпирических фактов победила волновая теория света. Свет в вакууме стал толковаться как волновой процесс в эфире, и оказалось бесполезным рассматривать последний в свою очередь как конгломерат

материальных точек. Здесь впервые выявилось, что дифференциальные уравнения в частных производных оказываются естественным выражением первичных реальностей в физике. Таким образом, непрерывное поле в одной особой области теоретической физики встало наряду с материальной точкой как представитель физической реальности. Этот дуализм не преодолен до сих пор, что должно внушать беспокойство каждому последовательно мыслящему человеку.

Если бы представление о физической реальности перестало быть чисто атомистическим, то все же оно осталось бы прежде всего чисто механистическим. Все события все еще пытались бы толковать как движение инертных масс: другие способы представления нельзя было представить себе вообще. Но тут произошел великий перелом, который навсегда связан с именами Фарадея, Максвелла, Герца. Львиная доля в этой революции принадлежит Максвеллу. Он показал, что все тогдашнее знание о свете и об электромагнитных явлениях выражается в его хорошо известной двойной системе дифференциальных уравнений в частных производных, в которой электрическое и магнитное поля выступают как зависимые переменные. Правда, Максвелл пытался обосновать или оправдать эти уравнения с помощью мысленного построения механической модели. Но он использовал одну за другой несколько конструкций такого рода и фактически ни одной не принял всерьез, так что существенными оказались только сами уравнения и входящие в них напряженности поля как ни к чему другому несводимые сущности. Это понимание электромагнитного поля как несводимой далее сущности на рубеже двух столетий уже получило общее признание, и более серьезные теоретики отказались от надежды и возможности дать механическое обоснование уравнений Максвелла. Даже наоборот, вскоре появились попытки объяснить материальные частицы и их инерционные свойства на основе полевой теории с помощью теории Максвелла; правда, эти попытки не привели к окончательному успеху.

Отвлекаясь от важных, но *частных* результатов, полученных Максвеллом в течение всей жизни в разных областях физики, и обращая внимание лишь на те изменения, которые произошли благодаря ему в наших представлениях о природе физической реальности, мы можем сказать, что до Максвелла физическая реальность, поскольку она должна представлять процессы в природе, мыслилась в виде материальных точек, изменения которых состоят только в движении, описываемом обыкновенными дифференциальными уравнениями. После Максвелла физическая реальность мыслилась в виде непрерывных, не поддающихся механическому объяснению полей, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных. Это изменение понятия реальности является наиболее глубоким и плодотворным из тех, которое испытала физика со времен Ньютона. Нужно также добавить, что полная реализация этой программной идеи еще

не удалась. Удачные физические построения, которые с тех пор выдвигались, скорее представляли собой компромисс между этими двумя программами. Именно благодаря своему компромиссному характеру они носили печать временности и логической неполноты, хотя в отдельных задачах и приводили к большим успехам.

Так, прежде всего следует назвать электронную теорию Лоренца, в которой поле и электрические корпускулы выступают рядом друг с другом как взаимодополняющие элементы для понимания реальности. Затем появились специальная и общая теории относительности, которые, хотя и основывались полностью на представлениях полевой теории, все же до сих пор не смогли избежать независимого введения материальных точек и обыкновенных дифференциальных уравнений. Самое последнее и наиболее успешное создание теоретической физики — квантовая механика — в своих основах принципиально отличается от обеих программ, которые мы ради краткости будем называть программами Ньютона и Максвелла. В самом деле, величины, выступающие в ее основных законах, не претендуют на то, чтобы описывать *саму* физическую реальность, они описывают только *вероятность* появления физической реальности. Дирак, которому мы, по моему мнению, должны быть признательны за логически наиболее совершенное изложение этой теории, правильно отметил, что, например, трудно дать такое теоретическое описание фотона, чтобы в нем было достаточно данных для решения вопроса о том, пройдет ли фотон поставленный на его пути поляризатор или нет.

Поэтому я склоняюсь к мнению о том, что физики не будут долго довольствоваться такого рода косвенным описанием реальности, даже если теория будет удовлетворительным образом приспособлена к постулату общей теории относительности. Тогда мы снова должны будем вернуться к попытке реализации той программы, которую с правом можно назвать максвелловской, а именно: к описанию физической реальности посредством полей, не имеющих особенностей и удовлетворяющих дифференциальным уравнениям в частных производных.

ПРЕДИСЛОВИЕ К „ОПТИКЕ“ НЬЮТОНА *

Счастливый Ньютон, счастливое детство науки! Тот, кто располагает временем и покоем, сможет, прочитав эту книгу, пережить те замечательные события, которые великий Ньютон испытал в дни своей молодости. Природа для него была открытой книгой, которую он читал без усилий. Концепции, которыми он пользовался для упорядочения данных опыта, кажутся вытекающими непринужденно из самого опыта, из замечательных экспериментов, заботливо описываемых им со множеством деталей и представленных по порядку, подобно игрушкам. В одном лице он сочетал экспериментатора, теоретика, мастера и — в не меньшей степени — художника слова. Он предстал перед нами сильным, уверенным и одиноким; его радость созидания и ювелирная точность проявляются в каждом слове и в каждом рисунке.

Отражение, преломление, образование изображений в линзах, устройство глаза, спектральное разложение и смешение различных сортов света, изобретение телескопа-рефлектора, первоосновы теории цветов, элементарная теория радуги вереницей проходят перед нами. В конце изложены его наблюдения над цветами тонких пленок как исходная точка для последующего теоретического прогресса, ждавшего более ста лет прихода Томаса Юнга.

Эпоха Ньютона давно уже прошла проверку временем, борьба сомнений и мучения его поколения исчезли из нашего поля зрения; работы многих великих мыслителей и художников остались, чтобы радовать и облагораживать нас и тех, кто придет за нами. Открытия Ньютона вошли в сокровищницу признанных достижений познания. Это новое издание его труда по оптике, тем не менее, должно быть принято с теплой благодарностью, потому что только сама эта книга дает нам возможность взглянуть на деятельность этого единственного в своем роде человека.

* *Foreword.* В кн.: Sir Isaac Newton. Optics. New York, 1931. («Оптика» Ньютона выходила в русском переводе в 1927 г.— *Ред.*).

О РАДИО *

Стыдно должно быть тому, кто пользуется чудесами науки, воплощенными в обыкновенном радиоприемнике, и при этом ценит их так же мало, как корова те чудеса ботаники, которые она жует.

Не будем же забывать, каким образом это замечательное средство связи стало достоянием человечества! Источником всех научных достижений является ниспосланная богом любознательность не покладаящего рук экспериментатора и созидательная фантазия инженера-изобретателя.

Вспомним Эрстеда, впервые открывшего магнитное действие электрического тока. Вспомним Рейса, который был первым, кто воспользовался этим эффектом для электромагнитной генерации звука, Белла, сумевшего с помощью чувствительных контактов превратить звуковые волны, падавшие на мембрану микрофона, в переменный электрический ток. Вспомним Максвелла, математически доказавшего существование электромагнитных волн, и Герца, впервые создавшего их с помощью искры. Особо вспомним Либена, ставшего со своим диодом Флеминга изобретателем несравненного детектора электрических волн, оказавшегося к тому же идеально простым инструментом для генерации электрических волн. С благодарностью вспомним армию безвестных техников, упростивших радиоприборы и настолько приспособивших их к массовому производству, что радио стало общедоступным.

Подлинная демократия впервые стала возможной благодаря ученым, не только облегчившим наш повседневный труд, но и сделавшим всеобщим достоянием прекраснейшие произведения искусства и науки, наслаждение которыми до самого последнего времени было привилегией лишь избранных. Тем самым ученые пробудили от мертвящей скуки целые нации.

Радиовещание выполняет единственную в своем роде функцию: оно способствует сближению наций. Его можно использовать для укрепления чувства дружбы, так легко переходящего в недоверие и враждебность. До сих пор люди узнают друг о друге лишь с помощью кривого зеркала прессы. Радио же показывает живых людей и в основном с лучшей стороны.

* *On Radio. Cosmic Religion, with other Opinions and Aphorisms.* New York, 1931, 93—96.

О НАУКЕ*

Я верю в интуицию и вдохновение.

... Иногда я чувствую, что стою на правильном пути, но не могу объяснить свою уверенность. Когда в 1919 году солнечное затмение подтвердило мою догадку, я не был ничуть удивлен. Я был бы изумлен, если бы этого не случилось. Воображение важнее знания, ибо знание ограничено, воображение же охватывает все на свете, стимулирует прогресс и является источником ее эволюции. Строго говоря, воображение — это реальный фактор в научном исследовании.

✱

Основой всей научной работы служит убеждение, что мир представляет собой упорядоченную и познаваемую сущность. Это убеждение зиждется на религиозном чувстве. Мое религиозное чувство — это почтительное восхищение тем порядком, который царит в небольшой части реальности, доступной нашему слабому разуму

✱

Развивая логическое мышление и рациональный подход к изучению реальности, наука сумеет в значительной степени ослабить суеверие, господствующее в мире. Нет сомнения в том, что любая научная работа, за исключением работы, совершенно не требующей вмешательства разума, исходит из твердого убеждения (сродни религиозному чувству) в рациональности и познаваемости мира.

✱

Музыка и исследовательская работа в области физики различны по происхождению, но связаны между собой единством цели — стремлением выра-

* *On Science. Cosmic Religion, with Other Opinions and Aphorisms.* New York, 1931, 97—103.

зить неизвестное. Их реакции различны, но они дополняют друг друга. Что же касается творчества в искусстве и науке, то тут я полностью согласен с Шопенгауэром, что наиболее сильным их мотивом является желание оторваться от серости и монотонности будней и найти убежище в мире, заполненном нами же созданными образами. Этот мир может состоять из музыкальных нот так же, как и из математических формул. Мы пытаемся создать разумную картину мира, в котором мы могли бы чувствовать себя как дома, и обрести ту устойчивость, которая недостижима для нас в обычной жизни.

*

Наука существует для науки так же, как искусство для искусства, и не занимается ни самооправданиями, ни доказательством нелепостей.

*

Закон не может быть точным хотя бы потому, что понятия, с помощью которых мы его формулируем, могут развиваться и в будущем оказаться недостаточными. На дне любого тезиса и любого доказательства остаются следы догмата непогрешимости.

*

Каждый естествоиспытатель должен обладать своеобразным религиозным чувством, ибо он не может представить, что те взаимосвязи, которые он постигает, впервые придуманы именно им. Он ощущает себя ребенком, которым руководит кто-то из взрослых.

Мы можем познавать Вселенную лишь посредством наших органов чувств, косвенно отражающих объекты реального мира.

*

Ученые в поисках истины не считаются с войнами.

*

Нет иной Вселенной, кроме Вселенной для нас. Она не является частью наших представлений. Разумеется, сравнение с глобусом не следует понимать буквально. Я воспользовался этим сравнением как символом. Большинство ошибок в философии и в логике происходят из-за того, что человеческий разум склонен воспринимать символ как нечто реальное.

*

Я смотрю на картину, но мое воображение не может воссоздать внешность ее творца. Я смотрю на часы, но не могу представить себе, как выглядит создавший их часовой мастер. Человеческий разум не способен воспринимать четыре измерения. Как же он может постичь бога, для которого тысяча лет и тысяча измерений предстают как одно?

*

Представьте себе совершенно сплюсненного клопа, живущего на поверхности шара. Этот клоп может быть наделен аналитическим умом, может изучать физику и даже писать книги. Его мир будет двумерным. Мысленно или математически он даже сможет понять, что такое третье измерение, но представить себе это измерение наглядно он не сможет. Человек находится точно в таком же положении, как и этот несчастный клоп, с той лишь разницей, что человек трехмерен. Математически человек может вообразить себе четвертое измерение, но увидеть его, представить себе наглядно, физически человек не может. Для него четвертое измерение существует лишь математически. Разум его не может постичь четырехмерия.

В сб. «Cosmic Religion» вместе с данной и предыдущей статьями помещена следующая подборка афоризмов под заголовком «Разное».

РАЗНОЕ *

Каждый человек заключен в темницу своих идей, и каждый в юности должен взорвать ее, чтобы попытаться сравнить свои идеи с реальностью. Но через несколько веков другой человек, быть может, отвергнет его идеи. С художником в его неповторимости такого произойти не может. Так происходит только в поисках истины, и это вовсе не печально.

*

Юность всегда одна и та же, бесконечно одна и та же.

*

Я не верю, что отдельные личности обладают какими-то неповторимыми дарованиями. Я верю лишь в то, что, с одной стороны, существует талант, а с другой — высокая квалификация.

* *Miscellaneous. Cosmic Religion, with Other Opinions and Aphorisms. New York, 1931, 104—109.*

*

Перед богом мы все одинаково умны, точнее — одинаково глупы.

*

Работать — значит думать. Поэтому точно учесть рабочий день не всегда легко. Обычно я работаю от четырех до шести часов в день. Я не слишком прилежен.

*

Интеллектуал всегда рассматривает действительность в микроскоп.

*

Никогда не забывайте, что сам по себе продукт нашего труда не является конечной целью. Материальное производство должно сделать нашу жизнь возможно прекрасной и благородной. Мы не должны опускаться до положения рабов производства.

*

Гитлер не в большей степени характеризует Германию этого десятилетия, чем антисемитские беспорядки меньших масштабов. Гитлер живет (может быть, лучше сказать «сидит») на пустом желудке Германии. Как только экономическое положение улучшится, Гитлер канет в забвение. Он любительски играет на неммыслимых крайностях.

Если говорить краткими формулами, то можно просто сказать, что пустой желудок в политике плохой советчик. К сожалению, верно и следствие из этого утверждения: до тех пор, покуда есть надежда набить желудок, тех, кто лучше разбирается в политической обстановке, не слушают.

Лично я чувствую, что в мире в настоящее время уже накоплено достаточно технических знаний, чтобы ситуация, подобная той, которая наблюдается сейчас в Германии, была невозможна. Можно было бы производить достаточно предметов первой необходимости, чтобы обеспечить каждого, и в то же время каждому можно было бы предоставить работу. Разумеется, это означало бы короткий рабочий день и высокую заработную плату, а отнюдь не продолжительный рабочий день и низкую заработную плату, как это часто предлагают.

*

Психология масс — вещь, трудная для понимания. Боюсь, что историки при написании истории никогда не принимали в расчет психологию

масс. На события они глядят ретроспективно, исходя из идеи, будто они могут точно определить причины, повлекшие за собой то или иное выдающееся событие. На самом же деле, помимо этих очевидных причин, существуют не поддающиеся определению факторы психологии масс, о которых мы знаем мало или даже ничего не знаем.

Иллюстрацией, увы, может служить моя теория. Почему всеобщее любопытство избрало своим объектом меня, ученого, который занимается абстрактными вещами и счастлив, когда его оставляют в покое? Это одно из проявлений психологии масс, недоступных моему разумению. Ужасно, что так случилось. Я страдаю от этого больше, чем можно себе представить.

✱

Я не люблю подходить с мерной линейкой к таким тонким материям, как гений. Шоу, несомненно, является одной из величайших фигур в мире и как писатель, и как человек. Я как-то сказал о нем, что его пьесы напоминают мне произведения Моцарта.

В прозе Шоу нет ни одного лишнего слова, так же как в музыке Моцарта нет ни одной лишней ноты. То, что один делал в сфере мелодий, другой делает в области языка: безупречно, почти с нечеловеческой точностью передает свое искусство и свою душу.

ОТВЕТ НА ПОЗДРАВИТЕЛЬНЫЕ АДРЕСА НА ОБЕДЕ В КАЛИФОРНИЙСКОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ *

Я пришел к вам издалека, но я пришел не к чужим. Я пришел к тем, кто в течение многих лет были моими верными друзьями и сопутствовали мне в моей работе. Вы, уважаемый д-р Майкельсон, начали эту работу, когда я был еще совсем маленьким мальчиком меньше трех футов ростом. Именно Вы указали физикам новые пути и своей замечательной экспериментальной работой проложили путь развитию теории относительности. Вы нанесли непоправимый урон существовавшей тогда теории эфира и способствовали появлению идей Лоренца и Фипджеральда, из которых впоследствии развилась специальная, а затем и общая теория относительности и теория гравитации. Не будь Вашей работы, эта теория и по сей день считалась бы интересной гипотезой, но не более. Именно произведенная Вами экспериментальная проверка поставила теорию относительности на прочную основу.

Убедительными свидетельствами в пользу общей теории относительности явились обнаруженное Кемпбеллом искривление лучей света вблизи Солнца, красное смещение спектральных линий, обусловленное наличием гравитационного потенциала на поверхности Солнца, которое удалось измерить Сент-Джону, и наблюдавшееся Адамсом красное смещение спектра света, испускаемого спутником Сириуса.

Кроме того, труды Вашей чудесной обсерватории, в особенности недавнее открытие Хабблом зависимости красного смещения в линиях спектра спиральных туманностей от расстояния до них, привели к динамической концепции пространственной структуры Вселенной, нашедшей свое оригинальное и особенно яркое теоретическое выражение в работе Толмена.

Я благодарен Вам и за ту существенную помощь, которую Вы оказали квантовой теории своими экспериментальными работами, имеющими фундаментальное значение. Здесь я должен с особой благодарностью упомя-

* *Reply to Congratulatory Adresses at a Dinner given by the California Institute of Technology. Science, 1931, 73, 379.*

нута исследования Милликена по фотоэлектрическому эффекту, в которых впервые убедительно доказано, что испускание электронов твердым телом под действием света зависит от периода колебаний самого света. В соответствии с квантовой теорией такое положение особенно характерно для корпускулярной теории излучения.

Позволив себе немного порассуждать обо всем этом, я особенно счастлив воспользоваться Вашим гостеприимством в радостном настроении и счастливой надежде, что Ваши исследования будут беспрепятственно продолжаться и впредь, чтобы расширить и углубить наши познания о загадочных силах природы. От всего сердца благодарю Вас.

ПАМЯТИ АЛЬБЕРТА А. МАЙКЕЛЬСОНА *

Майкельсон родился в 1852 г. в польско-еврейской семье в Стрельно. Когда ему исполнилось два года, родители переехали в Америку. Там он и получил первоначальное образование, окончив военную академию. Затем он посвятил себя физике, завершил седьмой год своих занятий в Америке и отправился для продолжения образования в Германию и Францию. К науке он относился как художник и спортсмен, любил конструктивные идеи и проявлял упорство и изобретательность при их экспериментальном осуществлении. По-видимому, его величайшая идея пришла ему в голову еще в последние годы его учения, хотя внешние обстоятельства не позволили ему тогда же осуществить ее: речь идет о его знаменитом интерферометре, сыгравшем большую роль как в становлении теории относительности, так и в изучении спектральных линий. К сожалению, мы не можем ответить на вопрос о том, подошел ли Майкельсон к изобретению своего интерферометра с чисто оптических позиций или же его побудила к тому проблема движения тел сквозь эфир. Эйнштейн склонен отдать предпочтение второму предположению и считает создание интерферометра колоссальным достижением, тем более, что в то время эта проблема вообще не стояла в центре физических интересов. Необходимо было дать физическое доказательство движения тела относительно светового эфира, который представляли себе в виде квазитвердого, всепроникающего тела, не оказывающего материальным телам, движущимся сквозь него, никакого сопротивления. Как известно, опыт с интерферометром дал отрицательный результат. Именно это негативное открытие в значительной мере способствовало признанию правильности специальной теории относительности. Майкельсон использовал интерференционные эффекты и для того, чтобы сделать видимыми объекты с малыми угловыми размерами. Этим методом

* *Gedenkworte auf Albert A. Michelson*. Zs. angew. Chemie, 1931, 44, 685. (Изложение речи Эйнштейна на совместном заседании Берлинского физического общества и Немецкого общества технической физики 17 июля 1931 г.— *Ред.*)

ему удалось добиться разрешения порядка $1/200$ угловой секунды и расширить наши познания о звездах-гигантах. С помощью предложенных им ступенчатых решеток Майкельсон провел имеющие фундаментальное значение для новой физики исследования тонкой структуры спектральных линий. Эйнштейн считает самым изящным экспериментом Майкельсона его доказательство вращения Земли с помощью оптического метода. Если представить себе, что луч света, отражаясь от ряда зеркал, обходит вокруг Земли по экватору, то время, которое необходимо лучу, чтобы обойти один раз вокруг Земли, будет зависеть от направления обхода. Майкельсон чрезвычайно остроумно заставил луч обходить периметр большого заданного треугольника, при этом вращение Земли можно было найти по разности фаз между двумя лучами света. Вместе с тем опыт показал, если воспользоваться терминологией Майкельсона, что световой эфир не вращается вместе с Землей. В последние годы своей жизни Майкельсон занимался определением точного значения скорости света. Эйнштейн за год до смерти Майкельсона спросил у него, почему он затрачивает такие чудовищные усилия на точное измерение именно этой мировой константы, и получил следующий характерный ответ: «Потому, что это меня забавляет». Майкельсон умер в мае этого года в возрасте семидесяти девяти лет.

НАУКА И СЧАСТЬЕ*

Почему блестящая прикладная наука, приводящая к такой экономии труда и так облегчающая жизнь, приносит нам так мало счастья? Простой ответ гласит: потому, что мы еще не научились разумно пользоваться ею.

На войне она служит тому, что позволяет нам отравлять и калечить друг друга. В мирное время она подстегивает темп жизни и порождает неуверенность. Вместо того, чтобы в значительной степени избавить нас от изнуряющего труда, она превратила людей в рабов машин, безрадостно проводящих большую часть своего долгого, монотонного рабочего дня и вынужденных постоянно дрожать за свой скудный паек.

Чтобы ваш труд мог способствовать росту человеческих благ, вы должны разбираться не только в прикладной науке. Забота о самом человеке и его судьбе должна быть в центре внимания при разработке всех технических усовершенствований. Чтобы творения нашего разума были благословением, а не бичом для человечества, мы не должны упускать из виду великие нерешенные проблемы организации труда и распределения благ. Никогда не забывайте об этом за своими схемами и уравнениями.

Я мог бы спеть хвалебный гимн, рефреном которого служили бы слова о замечательном прогрессе в прикладной науке, уже достигнутом нами, и том существенном прогрессе, который вы еще принесете.

*

Возьмем совершенно нецивилизованного индейца. Будет ли его жизненный опыт менее богатым и счастливым, чем опыт среднего цивилизованного человека? Думаю, что вряд ли. Глубокий смысл кроется в том, что дети во всех цивилизованных странах любят играть в индейцев.

* *Science and Happiness*. New York Times, 17 February 1931. (Беседа со студентами в Калифорнийском технологическом институте.— *Ред.*)

ПРОЛОГ *

Много разных людей посвящало себя науке, но не все посвящали себя науке ради самой науки. Некоторые входили в ее храм потому, что это давало им возможность проявить свое дарование. Для этой категории людей наука является своего рода спортом, занятие которым доставляет им радость подобно тому, как атлету доставляют удовольствие упражнения, развивающие силу и ловкость. Существует другая категория людей, вступающих в храм науки, с тем чтобы предоставить в ее распоряжение свой мозг, получить за это приличное вознаграждение. Такие люди становятся учеными лишь случайно, в силу обстоятельств, обусловивших выбор их жизненного пути. Если бы обстоятельства, сопутствовавшие этому выбору были иными, эти люди могли бы стать политическими деятелями или крупными дельцами. Если бы с небес спустился ангел и изгнал из храма науки всех, кто принадлежит к этим двум категориям, то боюсь, что в храме науки почти никого бы не осталось. Но все же несколько жрецов остались бы в храме — кое-кто от прошлых времен, а кое-кто и от нашего времени. Среди последних был бы и наш Планк, и за это мы его так любим.

Я отдаю себе полный отчет в том, что при такой чистке были бы изгнаны многие из построивших значительную, может быть, даже большую часть храма науки. Но в то же время ясно, что если бы люди, посвятившие себя науке, относились только к тем двум категориям, о которых я говорил выше, то ее здание никогда бы не выросло до тех величественных размеров, которые оно имеет в настоящее время, точно так же, как не смог бы подняться лес, состоящий из одних лишь ползучих растений.

Но забудем о них. Non ragionam di lor¹. Обратимся к тем, кто снискал расположение ангела. Большей частью это странные, молчаливые, одино-

* *Prologue*. В кн.: M. P l a n c k. Where is science going? London, 1933, 9—14. (Впервые опубликована в 1932 г. в Нью-Йорке. Текст сильно перекликается со статьями 12.— *Ред.*).

¹ Эквивалентно предыдущей фразе.— *Прим. ред.*

кие люди. И все же, несмотря на то, что они похожи друг на друга, различие между ними гораздо сильнее, чем различие между теми, кого наш гипотетический ангел изгнал из храма науки.

Что заставило их посвятить свою жизнь служению науке? На этот вопрос трудно ответить вообще и никогда нельзя было бы ответить просто и категорично. Лично я склонен думать вместе с Шопенгауэром, что одним из сильнейших мотивов, побуждающих людей посвящать себя искусству и науке, является стремление избежать повседневности с ее серостью и мертвящей скукой и сбросить с себя оковы своих собственных переходящих желаний, нескончаемой вереницей сменяющих друг друга, если все помыслы сосредоточены на различного рода будничных мелочах и ограничены только ими.

К этому негативному мотиву следует добавить и позитивный. Природа человека такова, что он всегда стремился составить для себя простой и не обремененный излишними подробностями образ окружающего его мира. При этом он пытался построить картину, которая дала бы до какой-то степени реальное отображение того, что человеческий разум видит в природе. Именно это делает и поэт, и художник, и философ, и естествоиспытатель, причем каждый по-своему. В созданную им картину мира человек помещает центр тяжести своей души и таким образом находит в ней тот покой и то равновесие, которые не может найти в тесном кругу повседневной жизни, требующем с его стороны непрерывных реакций.

Какое место среди различных картин мира, созданных художником, философом и поэтом, занимает картина мира, созданная физиком-теоретиком? Главной ее особенностью должна быть особая точность и внутренняя логическая непротиворечивость, которые можно выразить только на языке математики. С другой стороны, физик должен быть жестоким по отношению к материалу, который он использует. Ему приходится довольствоваться воспроизведением лишь наиболее простых процессов, доступных нашему чувственному восприятию, ибо более сложные процессы человеческого разум не может представить себе с той чрезвычайной точностью и логической последовательностью, которые столь высоко ценит физиком-теоретиком.

Даже пожертвовав полнотой, мы должны обеспечивать простоту, ясность и точность соответствия между изображением и изображаемым предметом. Если отдавать себе отчет в том, насколько мала та часть природы, которую можно охватить и выразить с помощью точных формулировок, опуская все сколько-нибудь тонкое и сложное, то естественно задать вопрос: что же привлекательного может быть в подобной работе? Заслуживает ли результат подобного весьма ограничительного отбора громкого названия картины мира?

Я думаю, что заслуживает, ибо большинство общих законов, на кото-

рых зиждется логическая структура теоретической физики, надлежит учитывать при изучении даже наиболее простых явлений природы. Если бы эти законы были полностью известны, то теорию любого явления природы, включая теорию самой жизни, можно было бы вывести из них с помощью одних лишь абстрактных рассуждений. Я думаю, что *теоретически* такой вывод был бы возможен, но на практике такой процесс вывода лежит вне возможностей человеческого мышления. Поэтому тот факт, что в науке мы вынуждены довольствоваться неполной картиной физического мира, обусловлен не природой этого мира, а нашими собственными особенностями.

Таким образом, высшая задача физика состоит в открытии наиболее общих элементарных законов, из которых можно было бы логически вывести картину мира. Однако не существует логического пути открытия этих элементарных законов. Единственным способом их постижения является интуиция, которая помогает увидеть порядок, кроющийся за внешними проявлениями различных процессов. Эта способность к угадыванию развивается с практикой. Но можно ли утверждать, что разные физические теории могут быть в равной мере справедливыми и допустимыми? С теоретической точки зрения в этой идее нет ничего нелогичного. Но история науки показала, что на любом этапе развития физики одна из мыслимых теоретических структур доказывала свое превосходство над всеми остальными.

Для каждого опытного исследователя ясно, что теоретическое построение в физике зависит и определяется миром чувственного восприятия, хотя не существует логического пути, следуя по которому мы могли бы от чувственного восприятия прийти к принципам, лежащим в основе теоретической схемы. Кроме того, синтез понятий, являющийся отпечатком эмпирического мира, можно свести к нескольким фундаментальным законам, на которых логически строится весь синтез. При каждом существенном продвижении вперед физик обнаруживает, что фундаментальные законы все более и более упрощаются по мере того, как развиваются экспериментальные исследования. Он удивляется, когда замечает, сколь стройный порядок возникает из того, что прежде казалось хаосом. Этот порядок нельзя считать связанным с работой его собственного интеллекта; он обусловлен одним свойством, присущим миру восприятий. Лейбниц удачно назвал это свойство «изначальной гармонией».

Физики иногда упрекают философов, занимающихся теорией познания, за то, что те не вполне оценивают этот факт. И я думаю, что именно в этом состоит смысл дискуссии, в течение нескольких лет продолжавшейся между Эрнстом Махом и Максом Планком. Последний, по всей видимости, чувствовал, что Мах не вполне оценивал стремление физиков к восприятию этой «изначальной гармонии». Именно это стремление было неиссякае-

мым источником терпения и настойчивости, с которой Планк отдавался самым простым вопросам, связанным с физической наукой, в то время как он мог бы поддаться искушению и пойти иными путями, которые привели бы к более привлекательным результатам.

Я часто слышал, как коллеги Планка связывали его отношение к науке с его необычайными личными дарованиями, его энергией и пунктуальностью. Думаю, что они ошибаются. То состояние ума, которое служит движущей силой в этом случае, напоминает состояние фанатика или влюбленного. Усилия, затрачиваемые в течение длительного периода времени, стимулируются не каким-то составленным заранее планом или целью. Это вдохновение проистекает из душевной потребности.

Думаю, что Макс Планк посмеялся бы над тем, как по-детски я блуждаю здесь с фонарем Диогена. Но что я могу сказать о его величии? Величие Планка не нуждается в жалком подтверждении с моей стороны. Его труд дал один из самых мощных толчков прогрессу науки. Его идеи будут жить и работать до тех пор, пока существует физическая наука. И я надеюсь, что пример его личной жизни послужит не меньшим стимулом для последующих поколений ученых.

ЭПИЛОГ. СОКРАТОВСКИЙ ДИАЛОГ*

Мэрфи. Вместе с нашим другом Планком я принимал участие в написании книги, посвященной главным образом проблеме причинности и свободы человеческой воли.

Эйнштейн. Честно говоря, я не понимаю, что имеют в виду, когда говорят о свободе воли. Например, я чувствую, что мне хочется то или иное, но я совершенно не понимаю, какое отношение это имеет к свободе воли. Я чувствую, что хочу закурить трубку, и закуриваю ее. Но каким образом я могу связать это действие с идеей свободы? Что кроется за актом желания закурить трубку? Другой акт желания? Шопенгауэр как-то сказал: «Человек может делать то, что хочет, но не может хотеть по своему желанию».

Мэрфи. Но сейчас в физике модно приписывать нечто вроде воли даже обычным процессам, происходящим в неорганической природе.

Эйнштейн. То, о чем Вы говорите, не просто лишено смысла. Это бессмыслица, с которой нужно всячески бороться.

Мэрфи. Ученые называют это индетерминизмом.

Эйнштейн. Индетерминизм — понятие совершенно нелогичное. Что они подразумевают под индетерминизмом? Если я скажу, что средняя продолжительность жизни какого-то радиоактивного атома равна такой-то величине, то это утверждение будет выражать некоторую закономерность. Но сама по себе эта идея не содержит идеи причинности. Эту закономерность мы называем законом средних величин, но не всякий такой закон должен иметь некий причинный смысл. В то же время, если я скажу, что средняя продолжительность жизни такого атома индетерминирована в том смысле, что она причинно не обусловлена, то я выскажу бессмысленное утверждение. Я могу сказать, что мы встретимся с Вами завтра в некоторый неопределенный момент времени. Но это вовсе не означает, что этот мо-

* *Epilogue. A Socratic Dialogue.* В кн.: M. P l a n k. Where is science going? London, 1933, 210—221.

мент времени недетерминирован. Приду я или не приду, этот момент времени наступит. Здесь мы сталкиваемся с вопросом смешения субъективного мира и мира объективного. Индетерминизм квантовой физики — это субъективный индетерминизм. Его необходимо связать с чем-то, ибо в противном случае индетерминизм не имеет смысла. В случае квантовой механики индетерминизм связан с нашей неспособностью следить за отдельными атомами и предсказывать их поведение. Утверждение, что время прибытия какого-то поезда в Берлин индетерминировано, бессмысленно, если не указывать, по отношению к чему оно индетерминировано. Если поезд вообще прибывает в Берлин, то чем-то момент его прибытия детерминирован. То же относится и к атомам.

Мэрфи. В каком смысле Вы применяете понятие детерминизма к природе? В том смысле, что всякое событие в природе обусловлено другим событием, которое мы называем его причиной?

Эйнштейн. Мне бы не хотелось ставить вопрос таким образом. Прежде всего я считаю, что многие недоразумения, с которыми приходится сталкиваться во всех проблемах, связанных с причинностью, происходят из того, что вплоть до самого последнего времени было модно приводить принцип причинности лишь в его зачаточной формулировке. Когда Аристотель и схоласты дали определение того, что они понимают под причиной, идея объективного эксперимента в научном смысле еще не возникла. Поэтому они занимались тем, что давали определение метафизической концепции причины. То же относится и к Канту. Ньютон, по-видимому, осознал, что такая донаучная формулировка принципа причинности может оказаться недостаточной для современной ему физики. И Ньютон вынужден был заняться описанием тех законов, которые управляют событиями, происходящими в природе, и положить в основу своего синтеза математические законы. Я убежден, что события, происходящие в природе, подчиняются какому-то закону, связывающему их гораздо более точно и более тесно, чем мы подозреваем сегодня, когда говорим, что одно событие является причиной другого. Ведь в этом случае наша концепция ограничивается лишь тем, что происходит в один отрезок времени. То, что при этом происходит, выявляется из всего процесса в целом. Метод, к которому мы прибегаем в настоящее время, пользуясь принципом причинности, весьма груб и поверхностен. Мы ведем себя, как ребенок, который по одному стиху судит о целой поэме, ничего не зная о ее ритмическом рисунке, или как человек, начинающий учиться игре на фортепьяно и способный улавливать лишь связь какой-нибудь одной ноты с непосредственно ей предшествовавшей или следующей за ней. В какой-то мере такой подход может оказаться вполне удовлетворительным (если иметь дело с очень простыми и незамысловатыми сочинениями), но такого подхода явно недостаточно для интерпретации фуг Баха. Квантовая физика привела нас к

рассмотрению очень сложных процессов, и чтобы эта задача оказалась нам по плечу, мы должны расширить и уточнить нашу концепцию причинности.

Мэрфи. Это будет трудным делом, ибо Вам придется заняться отнюдь не модным вопросом. Если позволите, я произнесу небольшую речь. Я буду говорить не потому, что мне приятно слушать самого себя, хотя, разумеется, и это обстоятельство играет не последнюю роль. (Какой же ирландец не любит слушать самого себя?) Мне хотелось бы узнать Вашу реакцию на мое выступление.

Эйнштейн. Разумеется, я Вас слушаю.

Мэрфи. Судьба, или предопределение, составляет основу греческой драмы. А драма в то время была лишь подчиненным строгим канонам выражением сознания, глубоко иррационально воспринимающего действительность. В греческой драме действующие лица не просто рассуждали, как в пьесах Шоу. Вспомните трагедию Атрея, где судьба, или неизбежная цепь причин и следствий, является той единственной нитью, на которой держится вся драма.

Эйнштейн. Судьба, или предопределение, и принцип причинности — это не одно и то же.

Мэрфи. Я знаю. Но ученые живут в том же мире, что и остальные люди. Некоторые из ученых посещают политические митинги и ходят в театр, и большинство из тех, кого я знаю, по крайней мере здесь, в Германии, следят за литературой. Они не могут избежать влияния той *среды*, в которой живут. А *среда* в настоящее время в основном характеризуется борьбой за избавление от причинных цепей, опутавших мир.

Эйнштейн. Но разве человечество не всегда боролось за избавление от причинных цепей?

Мэрфи. Всегда, но не до такой степени, как сейчас. Во всяком случае я сомневаюсь, чтобы политический деятель мог всегда взвесить последствия той причинной цепи событий, которую он приводит в действие по собственной глупости. Сам он весьма ловок и сумеет во время выскользнуть. Макбет не был политиком, и именно поэтому он и потерпел поражение. Он понимал, что убийство не сможет предотвратить последствий. Но он не думал о том, как вырваться из оков последствий, до тех пор, пока не было уже слишком поздно, и все лишь потому, что он не был политиком. Я считаю, что в настоящее время люди начинают сознавать неизбежность неминуемой последовательности событий. Они начинают понимать то, что **им** давно говорил Бернард Шоу в своей пьесе «Цезарь и Клеопатра» (разумеется, это говорилось им и раньше бесчисленное число раз). Вы помните слова Цезаря, обращенные к царице Египта после того, как по ее приказу был убит Фотин, хотя Цезарь гарантировал тому безопасность.

«Ты слышишь? — сказал Цезарь. — Те, что ломаются сейчас в ворота твоего дворца, и они тоже верят в отмщение и убийство. Ты убила их

вождя, и они будут правы, если убьют тебя. Если ты не веришь, спроси этих твоих четырех советчиков. А тогда, во имя того же права, разве я не должен буду убить их за то, что они убили свою парию, и быть убитым в свою очередь их соотечественниками за то, что я вторгся в отчизну их? И что же тогда останется Риму, как не убить этих убийц, чтобы мир увидел, как Рим мстит за сынов своих и за честь свою? И так до скончания века — убийство будет порождать убийство, и всегда во имя права и чести и мира, пока боги не устанут от крови и не создадут породу людей, которые научатся понимать»¹.

Люди в настоящее время начинают постигать эту ужасную истину не потому, что они осознают принцип «кровь за кровь», а лишь потому, что видят: грабя своего соседа, Вы грабите самого себя. И так же, как осуществляется принцип «кровь за кровь», осуществляется и принцип «грабеж за грабеж». Так называемые победители в мировых войнах грабили побежденных. Теперь же они знают, что, грабя побежденных, они грабят самих себя. Потому-то теперь и наступило состояние всеобщей нищеты. Многие теперь стали понимать это, но они не имеют мужества смотреть правде в глаза и, подобно Макбету, прибегают к гаданию. Макбету гадали ведьмы, у которых был волшебный котел. В этом случае, к сожалению, наука является одним из ингредиентов, брошенных в этот котел, чтобы дать людям желанную панацею. Вместо того, чтобы смело признать существующий беспорядок, трагедии, преступления, каждый стремится доказать свою невиновность и найти алиби, позволяющее уйти от ответственности за последствия собственных деяний. Взгляните на вереницу голодных, которые каждый день приходят к Вашей двери, моля о куске хлеба. Это люди в полном расцвете сил, жаждущие использовать право человека на труд. Вы можете увидеть их на улицах Лондона, их грудь украшает медаль за храбрость, но они вынуждены просить кусок хлеба. То же самое происходит и в Нью-Йорке, и в Чикаго, и в Риме, и в Турине. Тот, кто с удобством устроился в мягком кресле, говорит: «Нас это не касается». И говорит это потому, что знает, что его это как раз касается. Затем он берет популярные книжки по физике и с удовлетворением вздыхает, когда ему говорят, что такой вещи, как закон причинности, не существует.

Что же нужно? Ведь это Наука, а Наука в настоящее время — двойник религии. Именно буржуа, столь высоко ценящий личный комфорт, способствовал созданию институтов и лабораторий. И что бы Вы ни говорили, ученые не были бы людьми, если бы не разделяли этих воззрений, хотя бы и подсознательно.

Эйнштейн. Ну, так говорить нельзя.

¹ Цит. по: Б е р н а р д Ш о у. Избранные произведения в двух томах, т. I, ГИХЛ, 1956, 463—464. — *Прим. ред.*

Мэрфи. Почему же? Вполне возможно. Вспомните о корыстолюбцах в Вами же самими нарисованной картине храма науки, а ведь они создали большую его часть. Вы же сами признали, что заслужить расположение ангела смогли бы лишь немногие. Я склонен думать, что та борьба, которая происходит в современной науке, представляет собой попытку не допустить обычный здравый смысл в разработанные ей схемы мышления. Это очень напоминает ту борьбу, которую когда-то вели теологи. Однако в эпоху Возрождения они уступили велению времени и ввели в свою науку чуждые ей идеи и методы, которые в конце концов и привели к кризису теологии.

Упадок схоластики начался с того времени, когда вокруг философов и теологов стали разгораться страсти толпы. Вспомните, какую давку устроили профаны, слушая Абельяра в Париже, а ведь ясно, что они не могли понять оригинальности его суждений. Лесть толпы в гораздо большей степени послужила причиной его падения, чем чьи-либо происки. Он не был бы человеком, если бы сам не стал думать о своей науке, и он действительно поддался этому искушению. Я не уверен в том, что и в настоящее время многие ученые не находятся в его положении. Некоторые из сотканных ими блестящих хитросплетений напоминают софистические ухищрения времен упадка схоластики.

Древние философы и теологи знали об этой опасности и предпринимали попытки предотвратить ее. Они создали корпорации ученых, доступ в которые был открыт лишь для посвященных. В настоящее время мы наблюдаем те же меры предосторожности и в других областях культуры. Католическая церковь мудро сохраняет внешнюю сторону своих ритуалов и ведет богослужение на языке, непонятном простому народу. Социологи и финансисты имеют свой собственный жаргон, непонятный постороннему. Таким же способом поддерживается и величие закона. Профессия медика лишилась бы своего ореола, если бы описывались болезни и выписывались лекарства не на латыни. Но все это не столь важно, ибо эти науки, искусства или ремесла не так связаны с жизнью, как физика. Физика же в настоящее время играет решающую роль, и от этого она, по-видимому, и страдает.

Эйнштейн. Но я не знаю, против чего следовало бы возражать больше, чем против идеи науки для ученых. Это так же плохо, как искусство для художников и религия для священников. Разумеется, в том, что Вы сказали, есть доля истины. И я убежден, что распространенная в настоящее время мода применять аксиомы физической науки к человеческой жизни не только полностью ошибочна, но и заслуживает известного порицания. Я считаю, что обсуждаемая в физике проблема причинности не является новым явлением в области науки. Метод, используемый в квантовой физике, должен применяться и в биологии, потому что биологические про-

цессы в природе нельзя проследить до такой степени, чтобы стали ясны их взаимосвязи. По этой причине биологические законы должны иметь статистический характер. И я не понимаю, почему нужно было бы поднимать такой шум, когда оказалось, что на принцип причинности в современной физике приходится наложить какие-то ограничения. Такая ситуация отнюдь не является новой.

Мэрфи. Разумеется, ни к какой новой ситуации это не привело бы, но биологическая наука в настоящий момент не является столь жизненно важной, как физическая наука. Людей не слишком интересует, произошли ли мы от обезьяны или нет. Этим могут интересоваться лишь некоторые любители животных, да и те считают, что обезьяны стоят на слишком высокой ступени развития, чтобы быть предками человека. У широкой публики нет того интереса к биологии, который наблюдался во времена Дарвина и Гексли. Центр тяжести ее интересов переместился в физику. Именно поэтому публика на свой лад откликается на каждую новую идею в физике.

Эйнштейн. Я полностью согласен с нашим другом Планком и разделяю занятую им позицию по этим вопросам, но Вы, должно быть, и сами помните, что говорил и писал Планк. Он допускает, что при современном положении вещей применение принципа причинности к внутренним процессам в атомной физике невозможно, но решительно выступает против тезиса о том, что из неприменимости этого принципа следует отсутствие причинности во внешнем мире. Сам Планк по этому поводу ничего определенного не высказывает. Он лишь высказывает свое несогласие с утверждениями, на которых настаивают некоторые сторонники квантовой теории. В этом я полностью с ним солидарен. Когда же Вы говорите о людях, рассуждающих о таких вещах, как свобода воли в природе, мне трудно найти подходящий ответ. Разумеется, эта идея абсурдна.

Мэрфи. Но Вы согласны с тем, что физика не дает никаких оснований для столь незаконного применения того, что можно для удобства назвать принципом неопределенности Гейзенберга?

Эйнштейн. Согласен.

Мэрфи. Но Вам известно, что некоторые английские физики, занимающие очень высокое положение и в то же время пользующиеся широкой известностью, приняли деятельное участие в распространении тех идей, которые Вы и Планк, а также и многие другие вместе с Вами, назвали необоснованными выводами?

Эйнштейн. Следует различать физика от литератора в тех случаях, когда этими двумя профессиями занимается одно лицо. В Англии существует великая английская литература и высокая дисциплина стиля.

Мэрфи. В литературе питаю ненависть к той *amor intellectualis*, к истине, которая является страстью ученых. По-видимому, английский

ученый, предаваясь своим литературным развлечениям, так искусно меняет окраску, что его так же трудно обнаружить, как гусеницу на древесном листе.

Эйнштейн. Я имею в виду, что в Англии некоторые ученые, выступая как авторы популярных книг, позволяют себе быть нелогичными и романтически настроенными, но в своей научной работе они действуют как мыслители, обладающие способностью к точным логическим построениям.

Цель ученого состоит в том, чтобы дать логически непротиворечивое описание природы. Логика для него означает то же, что законы пропорции и перспективы для художника. Так же, как и Пуанкаре, я считаю, что наукой стоит заниматься, ибо она позволяет открывать красоту природы. Наградой ученому служит, то что Анри Пуанкаре называет радостью познания, а не те возможные применения, которые может найти его открытие.

На мой взгляд, ученый занимается построением идеально гармоничной картины, придерживаясь некоторой математической схемы. Он бывает очень рад, если ему удастся установить с помощью математических формул связь между различными частями этой картины, и не задает вопроса о том, являются ли эти связи доказательством того, что во внешнем мире действует закон причинности, и если да, то в какой мере.

Мэрфи. Профессор, позвольте обратить Ваше внимание на то, что в один прекрасный день может произойти, когда Вы будете кататься на своей яхте по озеру. Разумеется, то, о чем я хочу сказать, нечасто случается в тихих водах озера Капут, поскольку оно расположено среди низины и внезапных порывов ветра на нем не бывает. Но если Вы идете с попутным ветром под парусом по одному из наших северных озер, Вы всегда рискуете внезапно перевернуться из-за неожиданного порыва ветра. Этим я хочу сказать, что позитивист мог бы без особого труда опровергнуть Ваши рассуждения. Если Вы скажете, что ученый занимается тем, что проводит свои умственные построения на строго логической (математической) основе, Вас тотчас же обвинят в поддержке субъективного идеализма, защищаемого такими современными учеными, как, например, сэр Артур Эддингтон.

Эйнштейн. Но это было бы смешно.

Мэрфи. Разумеется, такое обвинение было бы необоснованным, но в британской прессе так широко распространено мнение, что Вы разделяете теорию, согласно которой внешний мир является производным от сознания. Я обратил на это внимание моего английского друга м-ра Джоуда, написавшего превосходную книгу под названием «Философские аспекты науки». В этой книге проводится точка зрения, противоположная той, которую разделяют сэр Артур Эддингтон и сэр Джеймс Джинс, и Ваше имя упоминается как имя противника их теорий.

Эйнштейн. Ни один физик не верит, что внешний мир является производным от сознания, иначе он не был бы физиком. Не верят в это и названные Вами физики. Следует отличать литературную моду от высказываний научного характера. Названные Вами люди являются настоящими учеными, и их литературные работы не следует считать выражением их научных убеждений. Зачем кто-нибудь стал бы любоваться звездами, если бы он не был уверен в том, что звезды действительно существуют? Здесь я полностью согласен с Планком. Мы не можем логически доказать существование внешнего мира. Более того, Вы не можете логически доказать, что я сейчас разговариваю с Вами или что я нахожусь здесь. Но Вы знаете, что я здесь, и ни один субъективный идеалист не сможет убедить Вас в противоположном.

Мэрфи. Эту точку зрения очень подробно разъяснили еще схоласты, и я не могу отделаться от мысли, что многих ошибочных точек зрения, господствовавших в девятнадцатом веке и распространенных донныне, можно было бы избежать, если бы разрыв с философскими традициями, происшедший в семнадцатом веке, не был бы столь глубоким. То, с чем столкнулся современный физик, схоласты сформулировали очень отчетливо. Они описывали мысленные образы внешней реальности, как существующие *fundamentaliter in re, formaliter in mente* (основательно на деле, формально в уме.— *Ред.*).

«Эпilog» представляет собой обработку стенографической записи беседы ирландского писателя Мэрфи с Эйнштейном. В книге Планка, в которой помещена эта беседа, за ней следует запись беседы Мэрфи с Планком, в которой обсуждались, в частности, вопросы соотношения между наукой и религией. Подобный вопрос был предметом другой беседы Мэрфи и математика Салливэна с Эйнштейном «Наука и бог», напечатанной в журнале «Forum» (1930, 83, 373—379). Ниже мы приводим запись части этой беседы (ср. также статью 40 и письмо к Соловину от 1 января 1951 г., стр. 564).

НАУКА И БОГ: ДИАЛОГ *

Мэрфи. В прошлом году на собрании американских ученых в Нью-Йорке один из ораторов высказал мысль о том, что настало время, когда наука должна дать новое определение бога.

Эйнштейн. Абсолютно нелепая мысль!

Мэрфи. Но дальше последовало нечто более нелепое. Из этого инцидента возникла публичная дискуссия, в которой горячее участие приняли печать и представители церкви. Общий смысл выступлений последних сводился к тому, что вовлечение бога в научную дискуссию неуместно, ибо наука не имеет ничего общего с религией.

* *Science and God: A Dialogue.* Forum, 1930, 83, 373—379.

Эйнштейн. Думаю, что обе точки зрения основаны на весьма поверхностных представлениях о науке, как, впрочем, и о религии.

Мэрфи. Но более серьезная и более существенная сторона возникшей ситуации заключается в следующем: публичная дискуссия показала, что ученый, о котором я говорил, выразил мнение широкой публики. Во всем мире, особенно в Германии и в Америке, люди обращаются к науке в поисках духовной поддержки и вдохновения, которых им, по всей видимости, не может дать религия. В какой мере современная наука может удовлетворить эту потребность? Я бы хотел, профессор, услышать Ваше мнение по этому вопросу.

Эйнштейн. Если говорить о том, что вдохновляет современные научные исследования, то я считаю, что в области науки все наиболее тонкие идеи берут свое начало из глубоко религиозного чувства и что без такого чувства эти идеи не были бы столь плодотворными. Я полагаю также, что та разновидность религиозности, которая в наши дни ощущается в научных исследованиях, является единственной созидательной религиозной деятельностью в настоящее время, ибо ныне вряд ли можно считать, что и искусство выражает какие-то религиозные инстинкты.

Салливан. Как можно утверждать, будто высшие научные достижения выражают религиозное чувство? Разве религия не возникает по сути дела из попыток найти смысл жизни? Разве ее возникновение не обусловлено главным образом тем, что в мире есть страдание?

Эйнштейн. Не думаю, чтобы высказанная Вами концепция религии была очень глубокой. Истинно великие религиозные люди исходили совсем из другой концепции.

Салливан. Но Вы, профессор, согласны с тем, что Достоевский является великим религиозным писателем?

Эйнштейн. Согласен.

Салливан. Мне кажется, что основная проблема, рассмотрением которой он занимался,— это проблема страдания.

Эйнштейн. Я не согласен с Вами. Дело обстоит иначе. Достоевский показал нам жизнь, это верно; но цель его заключалась в том, чтобы обратить наше внимание на загадку духовного бытия и сделать это ясно и без комментариев. При таком подходе никакой проблемы не возникает, и Достоевский никакой проблемы не рассматривал.

Мэрфи. И современная наука вряд ли занимается рассмотрением проблем. Я имею в виду высшие отрасли научного исследования. Цель Вашей работы, профессор, и работ Ваших коллег, таких, как Макс Планк, Шредингер, Гейзенберг, Эддингтон и Миллиken, выше и шире той цели, которую ставили перед собой ученые-исследователи старой школы. Для тех главный интерес заключался в более близкой проблеме: открытии законов природы, которые позволили бы человеку управлять силами природы и

использовать их для собственной пользы и удобства. Это особенно заметно на примере открытий в области химии или электротехники. Обывательский разум и поныне все еще вопрошает, какая польза от теории относительности. Обывательский разум не настолько дальновиден, чтобы понять, что теория относительности — это лишь первая фаза той работы, которую Вы и Ваши коллеги ведете по созданию величественного здания научной теории, венцом которой явится подлинная космология, основанная на объективном изучении фактов. Эта теория должна в конечном счете занять место тех субъективных проекций нашего разума на внешний мир, которые составляют основу философий Аристотеля и Платона, а на самом деле всего, что в наши дни называется философией. В какой мере научная теория, создаваемая Вами и Вашими коллегами, может стать философией, способной предпринять попытки установления практических идеалов жизни на руинах религиозных идеалов, потерпевших в последнее время столь ужасное поражение? Именно в этом заключается наша главная тема.

Эйнштейн. Практическая философия означала бы философию поведения. Я не считаю, что наука может учить людей морали. Я не верю, что философию морали вообще можно построить на научной основе. Например, Вы не могли бы научить людей, чтобы те завтра пошли на смерть, отстаивая научную истину. Наука не имеет такой власти над человеческим духом. Оценка жизни и всех ее наиболее благородных проявлений зависит лишь от того, что дух ожидает от своего собственного будущего. Всякая же попытка свести этику к научным формулам неизбежно обречена на неудачу. В этом я полностью убежден. С другой стороны, нет никаких сомнений в том, что высшие разделы научного исследования и общий интерес к научной теории имеют огромное значение, поскольку приводят людей к более правильной оценке результатов духовной деятельности. Но содержание научной теории само по себе не создает моральной основы поведения личности.

Марфи. И все же люди питают к науке своеобразное религиозное чувство, которое временами перерастает почти в религиозный фанатизм. Вы, наверное, слышали о той давке, которую устроили в Нью-Йорке, когда люди давили и увечили друг друга, стремясь во чтобы то ни стало попасть на лекцию по теории относительности?

По-видимому, они надеялись, что смогут получить некое неосознанное воодушевление, приобщаясь к великой истине, понять которую они не смогли. Когда я прочитал об этом в газетах, я невольно представил себе битвы времен раннего христианства, когда люди сражались и погибали во имя абстрактных учений о троице.

Эйнштейн. Да, я читал об этом. Думаю, что необычайный интерес, питаемый сейчас к науке широкой общественностью, и важное место, отво-

димое науке в умах человечества, являются наиболее яркими проявлениями метафизических потребностей нашего времени. Люди, по-видимому, начинают уставать от материализма в вульгарном его понимании, ощущать пустоту жизни и искать нечто, выходящее за рамки сугубо личных интересов. Всеобщий интерес к научной теории вовлек в игру высшие сферы духовной деятельности, что не может не иметь огромного значения для морального исцеления человечества.

Мэрфи. Что можно предпринять для изучения научной теории как общекультурной дисциплины молодыми людьми в колледжах и университетах?

Эйнштейн. Если говорить о научной истине в целом, то необходимо развивать творческие способности и интуицию. Все здание научной истины можно возвести из камня и извести ее же собственными учениями, расположенными в логическом порядке. Но чтобы осуществить такое построение и понять его, необходимы творческие способности художника. Ни один дом нельзя построить только из камня и извести. Особенно важным я считаю совместное использование самых разнообразных способов постижения истины. Под этим я понимаю, что наши моральные наклонности и вкусы, наше чувство прекрасного и религиозные инстинкты вносят свой вклад, помогая нашей мыслительной способности прийти к ее наивысшим достижениям. Именно в этом проявляется моральная сторона нашей натуры — то внутреннее стремление к постижению истины, которое под названием *amor intellectualis* так часто подчеркивал Спиноза. Как Вы видите, я полностью согласен с Вами, когда Вы говорите о моральных основах науки. Но обращать эту проблему и говорить о научных основах морали нельзя.

Мэрфи. Но в таком случае Вы расходитесь во мнениях с бихевиористами или даже с егенистами, считающими, что в своем поведении человек должен руководствоваться светом научного учения.

Эйнштейн. Я считаю, что высказал свою точку зрения достаточно ясно.

ЗАМЕЧАНИЯ О НОВОЙ ПОСТАНОВКЕ ПРОБЛЕМ В ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ*

С помощью чувственных восприятий мы получаем знания о предметах внешнего мира лишь косвенным образом. Перед физикой в широком смысле стоит задача создания таких представлений о реально происходящих событиях и явлениях, которые бы позволили установить закономерные связи между восприятиями, получаемыми нами от наших органов чувств. Ясно, что решить эту задачу можно лишь с помощью умозрительных построений.

В настоящее время известно, что наука не может вырасти на основе одного только опыта и что при построении науки мы вынуждены прибегать к свободно создаваемым понятиям, пригодность которых можно *a posteriori* проверить опытным путем. Эти обстоятельства ускользали от предыдущих поколений, которым казалось, что теорию можно построить чисто индуктивно, не прибегая к свободному, творческому созданию понятий. Чем примитивнее состояние науки, тем легче исследователю сохранять иллюзию по поводу того, что он будто бы является эмпириком. Еще в XIX веке многие верили, что ньютоновский принцип — *«hypotheses non fingo»* — должен служить фундаментом всякой здоровой естественной науки.

В последнее время перестройка всей системы теоретической физики в целом привела к тому, что признание умозрительного характера науки стало всеобщим достоянием.

Мы не задаем более вопроса об «истинности» какой-нибудь теории, а спрашиваем лишь, насколько полезна теория и какие результаты можно получить с ее помощью. Если первоначально теории мыслили как описание реальных предметов, то в более поздние времена ее рассматривали лишь как «модель» процессов, происходящих в природе. Что же касается новейшей фазы развития, то квантовая механика привела к частичному

* *Bemerkungen über den Wandel der Problemstellungen in der theoretischen Physik.* В кн.: «Emmanuel Libman Anniversary Volumes», v. 1, Intern. Press. New York, 1932, 363—364.

отказу даже от представления о модельном характере теории. Поскольку любое теоретическое исследование носит умозрительный характер, квантовая механика видит свою главную цель в достижении результатов с помощью минимума теоретических элементов. Ради этой цели квантовая механика охотно жертвует даже принципом строгой причинности.

Здесь мне хотелось бы бросить лишь весьма поверхностный взгляд на те изменения, которые претерпели наши воззрения на физическую реальность.

Со времен Декарта и Ньютона физические явления прежде всего пытались сводить к движениям одних лишь неизменных атомов. Пространство, время, атомы (последние наделялись инерцией и силами взаимодействия), казалось, составляли весь мыслимый базис любой физической теории.

Первый существенный перелом в этих воззрениях наступил после того, как Фарадей и Максвелл ввели понятие электромагнитного поля. Понятие поля, наряду с понятием материальной частицы, стало фундаментальным независимым понятием.

В конце прошлого века наметилась даже тенденция сводить материальные частицы к понятию поля. Частицы, служащие элементами материи, способными переносить электрический заряд, рассматривали как области сгущенного поля.

Теорию относительности в ее современном виде можно считать разделом теории поля. Теория относительности также сводит к непрерывным полям свойства пространства и времени, лишив метрическую геометрию ее априорного характера, которым геометрия отличалась от остальных физических дисциплин.

Теория частиц и теория поля существенно отличаются друг от друга по своей математической структуре. Первая пытается представить реальность с помощью конечного, хотя и чудовищно большого, числа параметров, зависящих от времени. Все эти параметры удовлетворяют дифференциальным уравнениям. Вторая, напротив, использует лишь небольшое число непрерывных функций пространственных координат и времени (или четырех пространственно-временных координат).

Самая молодая область теоретической физики — квантовая механика — примыкает к теории частиц. Однако она отрицает возможность представления координат частицы в виде функций времени и вследствие этого отказывается от построения модели реальных явлений. Вместо этого квантовая механика в качестве основного понятия вводит вероятность конфигурации частицы. Вместо системы дифференциальных уравнений, описывающих последовательность изменения конфигураций частицы, в квантовой теории рассматривают одно дифференциальное уравнение (или несколько таких уравнений), указывающее, каким образом изменяется со временем вероятность конфигурации.

Для современного состояния теоретической физики характерно, что каждое из известных ныне теоретических направлений позволяет особенно хорошо описывать определенный круг явлений, но вне этого круга его применимость ограничена. Особенно остро ощущается отсутствие логически удовлетворительного синтеза теории поля и квантовой механики. Все убеждены, что необходимые составные части будущей единой теории содержатся в обеих названных выше теориях. Но никто не может утверждать, что он работал с большим успехом и безграничным самопожертвованием. Ни у кого не порождают сомнения в успехе даже те головоломные загадки, которые ставит перед нами природа; я все же думаю, что оптимизм нашего поколения основан отнюдь не на трезвой оценке трудности этой проблемы.

ИЗ КНИГИ „СТРОИТЕЛИ ВСЕЛЕННОЙ“ *

ПРЕДИСЛОВИЕ

Всякий хотя бы приближенно знает, как развивались наши представления о строении мира звезд и о том месте, которое занимает в нем Земля; всякий знает имена людей, которые внесли особенно большой вклад в создание новых представлений, идей и теорий. Однако лишь немногие имели возможность познакомиться с этими людьми поближе. Лучшее всего это достигается не чтением их биографий, а ознакомлением с их оригинальными работами, в которых запечатлен ход мысли великих личностей.

Цель этой небольшой книги и состоит в том, чтобы собрать воедино такие оригинальные работы. Я ничуть не сомневаюсь, что она будет встречена с интересом и доставит огромную радость не только студентам, но и многим из тех, кто после напряженного рабочего дня имеет всего лишь несколько часов для тихих размышлений.

ОБРАЩЕНИЕ К СТУДЕНТАМ КАЛИФОРНИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В ЛОС-АНЖЕЛОСЕ (февраль 1932 г.)

Наука как нечто существующее и полное является наиболее объективным и вневичным из всего, что известно человеку. Однако наука как нечто, еще только зарождающееся, или как цель столь же субъективна и психологически обусловлена, как и все другие стремления людей.

* *Introduction and Address to Students of the University of California at Los-Angeles.* В кн.: «The Builders of the Universe», Los Angeles, 1932, 9, 91—93. В этой книге помещены на немецком и английском языках печатаемые здесь «Предисловие» (стр. 9—10) и «Обращение...» (стр. 91—96).

Именно этим объясняется то, что на вопрос о цели и сущности науки в разные времена разные люди давали самые различные ответы.

Разумеется, все сходится на том, что наука должна устанавливать связь между опытными фактами с тем, чтобы на основании уже имеющегося опыта мы могли предсказывать дальнейшее развитие событий. В самом деле, по мнению многих позитивистов, единственная цель науки состоит в как можно более полном решении этой задачи.

Однако я не уверен, что столь примитивный идеал мог бы зажечь такую сильную исследовательскую страсть, которая и явилась причиной подлинно великих достижений. Имеется еще одна тенденция, более сильная, хотя и более загадочная, замаскированная неустанными усилиями исследователя: стремление познать действительность, реальность. Однако следует всячески избегать употребления таких слов, поскольку здесь имеется трудность, состоящая в необходимости объяснять, что же на самом деле понимается под «реальностью» и «познанием» в столь общем утверждении.

Если отбросить все мистические элементы, то это означает, что мы пытаемся найти систему идей, которая позволила бы нам по возможности просто связать воедино наблюдавшиеся факты. Но такая простота вовсе не означает, что усвоение именно этой системы доставит студенту меньше всего хлопот. Мы имеем в виду лишь то, что система содержит наименьшее возможное число независимых постулатов или аксиом, ибо содержание этих логически независимых аксиом и представляет собой тот остаток, который не познаваем.

Когда человек говорит о каком-то научном предмете, короткое слово «я» не должно играть роли в его рассуждениях. Однако, если он говорит о целях и назначении науки, ему разрешается включать в рассмотрение и самого себя, поскольку никакие цели и стремления человек не воспринимает так непосредственно, как свои собственные. Та особая цель в области теоретической физики, которая кажется мне особенно важной, состоит в логической унификации теории. Сначала меня беспокоило, что электродинамика отдает предпочтение одному состоянию движения перед другими, не имея для этого отбора никаких экспериментально подтвержденных оснований. Так возникла специальная теория относительности, объединившая в единое целое электрическое и магнитное поля, а также массу и энергию или, в зависимости от обстоятельств, импульс и энергию. Затем из попыток понять инерцию и гравитацию, имеющих сходные свойства, возникла общая теория относительности, в которой, кроме того, удалось избежать неявных постулатов, используемых при формулировке основных законов в специальных системах координат.

В настоящее время особое беспокойство вызывает то, что гравитационное и электрическое поля должны входить в теорию как независимые

фундаментальные понятия. Надлежащее (как я надеюсь) логическое объединение этих понятий было достигнуто после многих лет напряженных поисков с помощью нового математического метода, предложенного мной вместе с моим превосходным сотрудником д-ром В. Майером ¹.

В настоящее время все еще стоит важная задача того же рода, которую часто формулировали, но которая так и не получила удовлетворительного решения: объяснение строения атома с помощью теории поля. Все эти усилия основываются на уверенности в том, что действительность должна обладать весьма гармоничной структурой. В настоящее время у нас больше оснований для столь прекрасной уверенности, чем когда бы то ни было ².

¹ Ср. т. II, статьи 105—107.— *Прим. ред.*

² Под портретом, помещенным в книге, факсимильная надпись Эйнштейна: «*Каж-
дый, хотя бы бегло, должен познакомиться со всем лучшим. А. Эйнштейн.*».—
Прим. ред.

К СЕМИДЕСЯТИЛЕТИЮ Д-РА БЕРЛИНЕРА *

Я хотел бы здесь объяснить своему другу Берлинеру и читателям этого журнала¹, почему так высоко ценю его труд. Это должно быть сделано именно здесь, потому что иначе не представится подходящего случая высказать такое. Воспитанная в нас привычка к объективному наложила «табу» на все личное; согрешить против нее можно только в исключительных случаях, один из которых представляется мне сейчас.

После такой попытки к освобождению вернемся снова к объективному. Круг охватываемых наукой вопросов чрезвычайно расширился, теоретическое познание во всех областях естествознания непредвиденно углубилось. Но познавательная способность человека ограничена узкими рамками и не изменяется. Поэтому деятельность отдельных исследователей неизбежно стягивается ко все более ограниченному участку всеобщего знания. Еще хуже то, что эта специализация приводит ко все большему отставанию единого, общего понимания науки, без которого истинная глубина исследовательского духа неизбежно уменьшается от развития науки. Создается ситуация, подобная той, которая символически изложена в библейской истории о Вавилонской башне. Каждому серьезному ученому знакомо это болезненное чувство невольной ограниченности все более сужающимся кругом представлений, угрожающей отнять у исследователя широкую перспективу, принижая его до уровня ремесленника.

Мы все страдали от этого бедствия, но ничего не предпринимали для его ослабления. Берлинер же оказал большую помощь говорящим на немецком языке. Он видел, что существующие популярные журналы могут дать достаточно сведений и советов неспециалисту. Но он видел также, что для ознакомления с наукой ученым, которые хотя и ориентироваться

* *Zu dr. Berliners siebzigstem Geburtstag.* Naturwiss., 1932, 20, 913.

¹ А. Берлинер был основателем и издателем журнала «Die Naturwissenschaften». — *Прим. ред.*

в развитии научных проблем, методов и результатов настолько, чтобы иметь возможность составить собственное мнение, необходим особенно тщательно и систематически издаваемый орган. В своей многолетней работе он преследовал эту цель с большим пониманием и не меньшим упорством, чем оказал всем нам и науке в целом такую услугу, за которую мы не в состоянии его достаточно отблагодарить.

Он должен был привлекать для сотрудничества в качестве авторов удачливых ученых, вынуждая их при этом излагать свою тему в форме, понятной, насколько это возможно, даже неспециалистам. Он мне часто рассказывал о боях, которые ему пришлось вести для достижения этой цели. При мне он однажды выразил возникающие трудности в следующем шутливом вопросе: «Что такое автор-ученый?» Ответ: «Гибрид мимозы и дикобраза»².

Стимулом всей деятельности Берлинера было стремление к выработке ясного представления о различных областях науки. Этой цели соответствует и написанный им учебник физики, явившийся результатом многолетней напряженной работы. Об этом учебнике один студент-медик сказал мне недавно: «Не знаю, как без этой книги за имеющееся в моем распоряжении время я смог бы уяснить себе принципы современной физики!»

Стремление Берлинера к тому, чтобы в журнале все было изложено наглядно и предельно ясно, в большой мере способствовало усвоению читателями проблем, методов и результатов науки! Нельзя представить себе научную жизнь нашего времени без созданного им журнала. Сделать познание живым и сохранить эту живость так же важно, как и решить какую-либо конкретную проблему. Мы все знаем, чем обязаны Арнольду Берлинеру!

Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

² Не сердись, дорогой Берлинер, за эту нескромность. Серьезный человек радуется, когда ему удастся хоть раз посмеяться от всего сердца!

МОЕ КРЕДО *

Принадлежать к числу людей, отдающих все свои силы обдумыванию и исследованию объективных фактов, имеющих непреходящее значение, — особая честь. Как я рад, что и я в какой-то степени удостоился этой чести, позволяющей человеку стать в значительной мере независимым от его личной судьбы и поступков окружающих. Но, получив эту независимость, не следует забывать о тех обязанностях, которые неразрывно связывают нас с прошлыми, ныне здравствующими и будущими поколениями людей...

Меня часто угнетает мысль о том, что очень многое в моей жизни строится на труде окружающих меня людей, и я сознаю, сколь многим я им обязан.

Я никогда не стремился к благополучию или роскоши и даже в какой-то мере испытываю к ним презрение. Мое стремление к социальной справедливости, так же как и мое отрицательное отношение ко всяким связям и зависимостям, которые я не считаю абсолютно необходимыми, часто вынуждали меня вступать в конфликт с людьми. Я всегда с уважением отношусь к личности и испытываю непреодолимое отвращение к насилию и обезличке.

Все это сделало меня страстным пацифистом и антимилитаристом, отвергающим всякий национализм, даже если он выступает в роли патриотизма.

Преимущества, создаваемые положением в обществе или богатством, всегда кажутся мне столь же несправедливыми и пагубными, как и чрезмерный культ личности. Идеалом я считаю демократию, хотя недостатки демократической формы государства мне хорошо известны. Социальное равноправие и экономическое благосостояние отдельной личности всегда

* *Mein Glaubensbekenntnis* (1932). В кн.: F. H e r n e s k. Albert Einstein. Berlin, 3te Aufl., 1967, 254—255. (На русском языке издан перевод со 2-го издания.—Ред.)

представлялись мне важной целью, стоящей перед обществом, управляемым государством.

Хотя в повседневной жизни я типичный индивидуалист, все же сознание незримой общности с теми, кто стремится к истине, красоте и справедливости, не позволяет чувству одиночества овладеть мной.

Самое прекрасное и глубокое переживание, выпадающее на долю человека, — это ощущение таинственности. Оно лежит в основе религии и всех наиболее глубоких тенденций в искусстве и науке. Тот, кто не испытал этого ощущения, кажется мне, если не мертвецом, то во всяком случае слепым. Способность воспринимать то непостижимое для нашего разума, что скрыто под непосредственными переживаниями, чья красота и совершенство доходят до нас лишь в виде косвенного слабого отзвука, — это и есть религиозность. В этом смысле я религиозен. Я довольствуюсь тем, что с изумлением строю догадки об этих тайнах и смиренно пытаюсь мысленно создать далеко не полную картину совершенной структуры всего сущего.

Эта речь Эйнштейна была издана «Лигой человеческих прав» весной 1932 г. в Германии в виде патефонной пластинки.

ПИСЬМА В ПРУССКУЮ И БАВАРСКУЮ АКАДЕМИИ НАУК

ОТКРЫТОЕ ПИСЬМО В ПРУССКУЮ АКАДЕМИЮ НАУК *

Ле Кок-Сюр-Мер (Бельгия)
5 апреля 1933 г.

Из абсолютно надежных источников я получил сообщение о том, что Прусская академия наук в своей официальной декларации заявила об «участии Альберта Эйнштейна в бесчинствах, происходивших в Америке и Франции».

Настоящим я заявляю, что никогда не принимал участия ни в каких бесчинствах. Должен добавить, что я не видел ничего, что хоть в какой-то мере напоминало какие-нибудь бесчинства. В подавляющем большинстве случаев люди довольствовались тем, что повторяли и комментировали официальные заявления и приказы ответственных лиц правительства Германии, а также программу экономического уничтожения немецких евреев.

В заявлении, сделанном мной представителям печати, я отказался от звания академика и германского гражданства. Я объяснил, что не хочу жить в стране, где личности не гарантированы равные права перед законом, свобода слова и свобода преподавания.

Кроме того, я объяснил современное положение в Германии массовым психозом и указал на некоторые его причины. В своей статье, предназначенной для членов Международной Лиги борьбы с антисемитизмом, а не для печати, я призвал всех мыслящих людей, которые остались верными идеалам цивилизации, находящейся ныне под угрозой, сделать все возможное, чтобы предотвратить дальнейшее распространение этого массового психоза, столь ужасно проявившегося в Германии.

* *Open letter to the Prussian Academy of Sciences.* New York Times, 1933, April, 16:5. (См. также Science, 1933, 77, May 12, 444).

Академии было бы нетрудно получить подлинный текст моих заявлений, прежде чем говорить обо мне в том тоне, в котором выдержана ее декларация. Немецкая пресса тенденциозно исказила мои заявления, но только этого и можно было ожидать от нее при нынешнем нажиме.

Я отвечаю за каждое свое слово. В свою очередь я ожидаю, что и академия, в особенности после того как она внесла свой вклад в диффамацию моей личности в Германии, должна будет довести это мое заявление до сведения своих членов и немецкого народа, перед которым меня оклеветали.

ОТВЕТ НА ПИСЬМО ПРУССКОЙ АКАДЕМИИ *

Ле Кок-Сюр-Мер,
12 апреля 1933 г.

Я получил Ваше послание от 7.4 сего года и не могу не выразить решительного осуждения тому умонастроению, которым оно проникнуто.

Что же касается фактов, то на это я могу ответить следующее.

Все, что вы говорите о моем поведении, по существу представляет лишь иную форму уже опубликованного Вами заявления, в котором Вы обвиняете меня в участии в бесчинствах, направленных против немецкого народа. В своем последнем письме я уже охарактеризовал подобные утверждения как клевету.

Вы далее упомянули о том, что если бы я со своей стороны выступил бы со «свидетельскими показаниями» в защиту «немецкого народа», то это произвело бы большое впечатление за границей. На это я отвечаю, что выступив с тем заявлением, о котором Вы говорите, означало бы предать все те понятия справедливости и свободы, за которые я ратовал всю свою жизнь. Вопреки тому, что Вы говорите, подобное заявление пошло бы не на пользу немецкому народу, а лишь было бы на руку тем, кто пытается подорвать идеи и принципы, завоевавшие немецкому народу почетное место в цивилизованном мире. Выступив с подобным заявлением, я бы способствовал, пусть даже косвенным образом, падению нравов и уничтожению всех существующих культурных ценностей.

Именно поэтому я был вынужден выйти из состава Академии. Ваше письмо еще раз показало мне, насколько прав я был, поступив таким образом.

Письмо Эйнштейна было направлено в ответ на письмо Непременного секретаря Прусской академии наук Эрнста Хеймана. В этом письме Эйнштейн обвиняется в антигерманской деятельности во Франции и США. Непременный секретарь сообщает, что

* «Mein Weltbild», 105—106.

Академия «не имеет оснований сожалеть об уходе Эйнштейна». Ответ Эйнштейна был опубликован в нескольких газетах. Прусская академия направила 7 и 11-го апреля 1933 г. письма Эйнштейну с подтверждением своих обвинений. На эти письма Эйнштейн ответил 12 апреля 1933 г.

В то же время президент Баварской академии наук 8 апреля сообщает Эйнштейну (который был членом-корреспондентом этой академии), что уход из Прусской академии влечет за собой и изменение его статуса в Баварской академии. На это письмо последовал ответ Эйнштейна от 21 апреля.

ОТВЕТ БАВАРСКОЙ АКАДЕМИИ *

Ле Кок-Сюр-Мер,
21 апреля 1933 г.

В своем послании по случаю отказа от звания члена Прусской Академии я уже указал причины, по которым при нынешних обстоятельствах я не желаю ни быть гражданином Германии, ни находиться в какой бы то ни было зависимости от Прусского министерства просвещения.

Эти причины сами по себе не влекут за собой ухудшения моих отношений с Баварской Академией. Если же я тем не менее хочу, чтобы мое имя было вычеркнуто из списка ее членов, то причина здесь иная. Первейшая обязанность всякой Академии состоит в том, чтобы поощрять и защищать научную жизнь страны. Несмотря на это, ученые общества Германии, насколько мне известно, стали молчаливыми свидетелями того, как значительную часть немецких ученых, студентов и преподавателей в Германии лишили возможности работать и добывать себе средства к существованию. Я не имею ни малейшего желания принадлежать к любому ученому обществу, способному, пусть даже под давлением извне, вести себя подобным образом.

Незадолго до своего возвращения из США, где он был с декабря 1932 г. в Калифорнском технологическом институте (КАЛТЕХ), Эйнштейн сделал следующее заявление, опубликованное 11 марта 1933 г. в газете «New York World Telegramm». (Немецкий текст был включен в «Mein Weltbild» под названием «Bekanntnis», английский перевод — в «The World as I see it», «Out of My later Years» и «Ideas and Opinions».

ЗАЯВЛЕНИЕ

Март 1933 г.

До тех пор, пока у меня будет такая возможность, я останусь только в стране, где господствует политическая свобода, терпимость и равенство всех граждан перед законом. Политическая свобода означает сво-

* «Mein Weltbild», p. 107.

боду выражения своих политических взглядов устно или письменно. Терпимость означает уважение взглядов любого другого человека, кем бы он ни был.

В настоящее время в Германии таких условий нет. Там подвергаются преследованиям те, кто имеет особые заслуги в установлении международного понимания, в том числе ведущие деятели искусства.

Любой общественный организм так же, как любой индивидуум, может заболеть психически под действием напряжения. Нации обычно превозмогают эти болезни. Я надеюсь, что и в Германии здоровые условия в скором времени возобладают, и в дальнейшем там не только будут время от времени устраивать торжества в честь таких великих людей, как Кант и Гёте, но и сама общественная жизнь и всеобщее сознание проникнется духом тех идей, которые они проповедовали.

О МЕТОДЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ *

Если вы хотите узнать у физиков-теоретиков что-нибудь о методах, которыми они пользуются, я советую вам твердо придерживаться следующего принципа: не слушайте, что они говорят, а лучше изучайте их работы. Тому, кто в этой области что-то открывает, плоды его воображения кажутся столь необходимыми и естественными, что он считает их немысленными образами, а заданной реальностью. И ему хотелось бы, чтобы и другие считали их таковыми.

Может показаться, что эти слова звучат как намек на то, чтобы вы покинули эту лекцию. Вы можете сказать: ведь он сам — работающий физик, и потому все размышления о структуре теоретической науки, вероятно, передоверит гносеологам.

Против такой критики я лично могу защититься, заверив вас, что не по собственной инициативе, а по любезному приглашению поднялся я на эту трибуну, которая служит напоминанием о человеке, всю свою жизнь твердо борвшемся за единство знания.

Но по существу мое выступление можно было бы оправдать тем, что каждому интересно знать, что думает о своей науке человек, который всю жизнь отдавал свои силы выяснению и улучшению основ науки. Его точка зрения на прошлое и настоящее своей области, пожалуй, очень сильно зависит от того, с чем он связывает надежды на будущее и что ставит своей целью в настоящем, но это — неизбежный удел всякого, кто интенсивно углубился в мир идей. То же самое происходит и с историком, который точно таким же образом, хотя, может быть, и неосознанно, группирует действительные события вокруг идеальных представлений о человеческом обществе, которые он сам создал для себя.

Бросим теперь беглый взгляд на развитие метода теоретической физики и при этом обратим особое внимание на отношение между содержа-

* *On the Method of Theoretical Physics*. Oxford, Clarendon Press, 1933. (Спенсеровская лекция, прочитанная в Оксфорде 10 июня 1933 г.— *Ред.*)

нием теории и совокупностью опытных фактов. Здесь мы встречаемся с вечным противоречием между двумя нераздельными компонентами человеческого познания в нашей области — опытом и мышлением.

Мы почитаем древнюю Грецию как колыбель западной науки. Там впервые было создано чудо мысли — логическая система, теоремы которой вытекали друг из друга с такой точностью, что каждое из доказанных ею предложений было абсолютно несомненным: я говорю о геометрии Евклида. Этот замечательный триумф мышления придал человеческому интеллекту уверенность в себе, необходимую для последующей деятельности. Если труд Евклида не смог зажечь ваш юношеский энтузиазм, то вы не рождены быть теоретиком.

Но прежде чем человечество созрело для науки, охватывающей действительность, необходимо было другое фундаментальное достижение, которое не было достоянием философии до Кеплера и Галилея. Чисто логическое мышление не могло принести нам никакого знания эмпирического мира. Все познание реальности исходит из опыта и возвращается к нему.

Положения, полученные при помощи чистого логических средств, при сравнении с действительностью оказываются совершенно пустыми. Именно потому, что Галилей сознавал это, и особенно потому, что он внушал эту истину ученым, он является отцом современной физики и, фактически, современного естествознания вообще.

Но если опыт есть начало и конец всего нашего знания реальности, то какова же роль логического мышления в науке? Полная система теоретической физики состоит из понятий, фундаментальных законов, которые должны иметь силу для этих понятий, и следствий, выведенных посредством логической дедукции. Это те следствия, которые должны соответствовать нашему единичному опыту; в любом теоретическом трактате их логический вывод занимает почти все страницы.

Здесь справедливо точно то же, что и в геометрии Евклида, за исключением того, что там фундаментальные законы называются аксиомами и не возникает вопроса о том, что выводы должны соответствовать какому-либо опыту. Если, однако, евклидову геометрию рассматривают как науку о возможности взаимного расположения реальных твердых тел, т. е. если ее трактуют как физическую науку, не абстрагируясь от ее первоначального эмпирического содержания, то логическое сходство геометрии и теоретической физики становится полным.

Таким образом, мы определили место логического мышления и опыта в системе теоретической физики. Логическое мышление определяет структуру этой системы; то, что содержит опыт и взаимные соотношения опытных данных, должно найти свое отражение в выводах теории. В том, что такое отражение возможно, состоит единственная ценность и оправдание всей системы и особенно понятий и фундаментальных законов, лежащих в

ее основе. В остальном эти последние суть свободные творения человеческого разума, которые не могут быть априори оправданы ни природой этого разума, ни каким-либо другим путем.

Эти фундаментальные понятия и законы, которые дальше не могут быть сводимы, образуют неотъемлемую часть теории, которая не поддается рациональной трактовке. Важнейшая цель любой теории состоит в том, чтобы этих основных несводимых элементов было как можно меньше и чтобы они были как можно проще, однако так, чтобы это не исключало точного отображения того, что содержится в опыте.

Кратко обрисованный здесь взгляд, согласно которому основы научной теории имеют чисто умозрительный характер, еще не был господствующим в XVIII и XIX веках. Но постепенно он получает все более прочную почву, по мере того как в мышлении все более отдаляются друг от друга фундаментальные понятия и законы, с одной стороны, и те выводы, которые должны быть сопоставлены с опытом, с другой, по мере того, как унифицируется логическая структура, т. е. по мере уменьшения числа логически независимых друг от друга концептуальных элементов, которые оказываются необходимой опорой всей структуры.

Ньютон, основатель первой обширной, работоспособной системы теоретической физики, был еще убежден в том, что основные понятия и законы его системы происходят из опыта. Его слова «*hypotheses non fingo*» можно понять в этом смысле.

Действительно, в то время казалось, что понятия пространства и времени не создавали никаких проблем. Понятия массы, инерции и силы и связанные с ними законы казались взятыми непосредственно из опыта. Раз эта база была принята, то и выражение для силы тяготения казалось выведенным из опыта, и было основание ожидать, что то же самое будет и в отношении других сил.

Правда, из ньютоновских формулировок мы видим, что понятие абсолютного пространства, связанное с понятием абсолютного покоя, доставляло ему неприятное чувство; он понимал, что в опыте, по-видимому, нет ничего, что соответствовало бы этому понятию. Он чувствовал также беспокойство в связи с введением далекодействующих сил. Но огромный практический успех его учения, по-видимому, воспрепятствовал ему, как и физикам XVIII и XIX веков, признать произвольный характер основ его системы.

Напротив, большинство естествоиспытателей тех времен были проникнуты идеей, что фундаментальные понятия и основные законы физики не были в логическом смысле свободными изобретениями человеческого разума и что они могли быть выведены из экспериментов посредством «абстракции», т. е. логическими средствами. Ясное осознание неправильности этого понимания по существу принесла только общая теория относитель-

ности. Эта теория показала, что на фундаменте понятий, сильно отличающемся от ньютонова, можно соответствующий круг опытов объяснить даже более удовлетворительным и совершенным образом, чем это было возможно на ньютоновой основе. Но совершенно не входя в обсуждение степени превосходства той или другой основы, можно сказать, что их умозрительный характер вполне очевиден из того факта, что мы можем указать на две существенно различные основы, которые обе в высокой степени соответствуют опыту. Во всяком случае это доказывает, что всякая попытка логического вывода основных понятий и законов механики из элементарного опыта обречена на провал.

Если, далее, справедливо, что аксиоматическая основа теоретической физики не может быть извлечена из опыта, а должна быть свободно изобретена, то можем ли мы вообще надеяться найти правильный путь? Более того, не существует ли этот правильный путь только в нашем воображении? Можем ли мы вообще быть уверенными, что опыт — надежный руководитель, если существуют такие теории, как классическая механика, которая широко оправдывается опытом, хотя и не проникает в сущность вещей? Я отвечаю без колебаний, что, по моему мнению, есть правильный путь, и мы в состоянии найти его. Весь предшествующий опыт убеждает нас в том, что природа представляет собой реализацию простейших математически мыслимых элементов. Я убежден, что посредством чисто математических конструкций мы можем найти те понятия и закономерные связи между ними, которые дадут нам ключ к пониманию явлений природы. Опыт может подсказать нам соответствующие математические понятия, но они ни в коем случае не могут быть выведены из него. Конечно, опыт остается единственным критерием пригодности математических конструкций физики. Но настоящее творческое начало присуще именно математике. Поэтому я считаю в известном смысле оправданной веру древних в то, что чистое мышление в состоянии постигнуть реальность.

Чтобы обосновать эту уверенность, я вынужден применить математические понятия. Физический мир представляется в виде четырехмерного континуума. Если я предполагаю в нем риманову метрику и спрашиваю, каковы простейшие законы, которые могут удовлетворить такой метрике, я прихожу к релятивистской теории гравитации для пустого пространства. Если в этом пространстве я предполагаю векторное поле или полученное из него антисимметричное тензорное поле и спрашиваю, каковы простейшие законы, которые могут удовлетворить такому полю, я прихожу к максвелловым уравнениям для вакуума.

У нас нет еще теории для тех частей пространства, в которых плотность электрического заряда не исчезает. Луи де Бройль предположил существование волнового поля, которое должно было объяснить известные квантовые свойства материи. Дирак нашел в спинорах полевые величины по-

вого вида, простейшие уравнения которых позволили вывести общие свойства электронов. Позже, в сотрудничестве с моим коллегой доктором Вальтером Майером, я нашел, что эти спиноры образуют своеобразный вид поля, математически связанного с четырехмерной системой; мы назвали его «полувекторным». Простейшие уравнения, которым такие полувекторы могут удовлетворять, дают нам ключ к пониманию того, почему существуют два вида элементарных частиц с различной тяжелой массой и равным, но противоположным электрическим зарядом. Эти полувекторы являются простейшими после обычных векторов, математическими полевыми образами, которые возможны в метрическом континууме четырех измерений, и это выглядит так, как если бы они естественным образом описывали существенные свойства электрических элементарных частиц.

Для нашего анализа существенно, что все эти образы и их закономерные связи могут быть получены в соответствии с принципом отыскания математически простейших понятий и связей между ними. Число математически возможных простых типов полей и простых уравнений, возможных между ними, ограничено; на этом основана надежда теоретиков на то, что они смогут понять реальность во всей ее глубине.

Наиболее трудным пунктом для развития подобной полевой теории пока является трактовка атомистической структуры вещества и энергии. Дело в том, что эта теория в основе своей не атомистична, поскольку она оперирует исключительно с непрерывными функциями пространства, в противоположность классической механике, наиболее важный элемент которой — материальная точка — уже сам по себе оправдывает атомистическую структуру вещества.

Современная квантовая теория в той ее форме, которая связана с именами де Бройля, Шредингера и Дирака и которая оперирует с непрерывными функциями, преодолела эту трудность путем смелой интерпретации; последние впервые в ясной форме была дана Максом Борном. Согласно этой интерпретации, пространственные функции, которые встречаются в уравнениях, не претендуют на то, чтобы быть математической моделью атомистического образования. Предполагается, что эти функции позволяют вычислить только вероятности найти такие образования в известном месте или же в известном состоянии движения, когда производятся соответствующие измерения. Это толкование логически свободно от противоречий, и оно дало значительные результаты. Но, к сожалению, оно вынуждает нас использовать континуум, размерность которого не является размерностью пространства, применяемого в физике до сих пор (а именно: четырехмерной); размерность этого континуума неограниченно возрастает вместе с ростом числа частиц, составляющих рассматриваемую систему. Не могу не признать в том, что я придавал этой интерпретации только преходящее значение. Я все еще верю в возможность построить такую модель реаль-

ности, т. е. такую теорию, которая выражает сами вещи, а не только вероятности их поведения.

С другой стороны, мне кажется несомненным, что мы должны отказаться от идеи точной локализации частиц в теоретической модели. Это кажется мне надежным результатом гейзенберговского соотношения неопределенностей. Но атомистическая теория в собственном смысле слова (а не только на основе интерпретации) в математической модели вполне мыслима и без локализации частиц. Например, чтобы учесть атомистический характер электричества, необходимо из полевых уравнений получить следующий результат: величина электрического заряда в некоторой области трехмерного пространства, на границах которой плотность заряда исчезает повсюду, всегда представляется целым числом. Таким образом, в теории континуума атомистические характеристики могли бы быть удовлетворительно выражены через интегральные законы и без локализации образований, составляющих атомистическую структуру.

Только в том случае, если бы удалось осуществить такое представление атомистической структуры, я считал бы квантовую загадку разрешенной.

Лекция печаталась также в сб. «Mein Weltbild» и «Ideas and Opinions», а в русском переводе — в сб. «Физика и реальность» (стр. 61—66) и в журнале «Успехи физических наук» (1965, 86, 403—407)

НАУКА И ЦИВИЛИЗАЦИЯ *

Каким образом мы можем спасти человечество и его духовные ценности, наследниками которых мы являемся? Каким образом можно спасти Европу от новой катастрофы? Нет никаких сомнений в том, что мировой кризис и связанные с ним страдания и лишения до какой-то степени обусловили то опасное развитие событий, свидетелями которых мы являемся. В такие периоды недовольство порождает ненависть, а ненависть приводит к новым актам насилия, к революции и даже к войне. Таким образом, страдания и зло порождают новые страдания и новое зло. Так же, как и двадцать лет назад, деятели, стоящие во главе государств, взяли на себя огромную ответственность. Пусть же их усилия увенчаются успехом и в Европе, пусть хотя бы на время установится единство и ясное понимание международных обязательств, делающее военную авантюру для любого государства совершенно невозможной. Но усилия государственных деятелей будут успешными лишь при условии, что если их будет поддерживать решительная воля народов.

В связи с этим для нас представляет интерес не только техническая проблема обеспечения и поддержания мира, но и важная задача образования и просвещения. Если мы хотим дать отпор тем силам, которые угрожают подавить личную и интеллектуальную свободы, то следует ясно сознавать, чем мы рискуем и чем мы обязаны той свободе, которую наши предки завоевали для нас в результате упорной борьбы.

Без этой свободы у нас не было бы ни Шекспира, ни Гете, ни Ньютона, ни Пастера, ни Фарадея, ни Листера. У нас не было бы ни удобных жилищ, ни железной дороги, ни телеграфа, ни радио, ни недорогих книг, ни защиты от эпидемий; культура и искусство не служили бы всем. Не было бы машин, освобождающих рабочего от тяжелого труда, связанного с производством продуктов первой необходимости. Большинству людей

* *La Science et la Civilisation*. Revue Bleue, littéraire et politique, 1934, 72, 641—642.

пришлось бы владеть жалкую жизнь рабов, совсем как во времена азиатских деспотов. Только свободные люди могли стать авторами тех изобретений и творений духа, которые на наших глазах признают ценность жизни.

Разумеется, существующие в настоящее время экономические трудности в конце концов приведут к тому, что равновесие между предложением и спросом труда, между производством и потреблением будет регулироваться законом. Но даже эту проблему мы должны решать как свободные люди, и для этого не должны допускать рабства, означающего в конечном счете гибель всякого здорового начала.

В этой связи я хотел бы высказать одну мысль, которая недавно пришла мне в голову. Мне случалось пребывать в одиночестве и быть в обществе, и всюду я замечал, что спокойная жизнь является мощным стимулом для творческого духа. В современном обществе имеется ряд профессий, позволяющих вести уединенный образ жизни и не требующих особых физических или интеллектуальных усилий. Я имею в виду профессии смотрителя маяка или бакенщика. Разве нельзя было бы предоставлять эти посты молодым людям, выразившим желание заняться решением научных проблем, в особенности проблем, касающихся математики и философии? Ведь очень немногие из них имеют возможность полностью посвятить себя научной работе в течение сколько-нибудь продолжительного периода времени. Даже если молодому человеку и удастся раздобыть немного денег, то научными проблемами ему приходится заниматься второпях. Такое положение вещей отнюдь не благоприятно для исследований в области чистой науки. В несколько лучшем положении находится молодой ученый, зарабатывающий на жизнь с помощью какой-нибудь практической специальности, разумеется, если эта его деятельность оставляет достаточно времени и энергии для научной работы. Может быть, мое предложение позволило бы многим творческим умам подняться до таких достижений в области науки, которые невозможны для них в настоящее время. В переживаемые нами времена экономической депрессии и политических неурядиц высказанные выше соображения достойны того, чтобы на них обратить внимание.

Стоит ли сожалеть о подобном образе жизни во времена опасности и нищеты? Думаю, что стоит.

Подобно другим животным, человек по своей природе апатичен. Если бы не было необходимости, то он бы не думал, а действовал бы как автомат, по привычке. Я уже немолод и, следовательно, имею право утверждать, что в детстве и юности я прошел подобную фазу — фазу, во время которой молодой человек занят исключительно мелочами своего собственного существования, хотя внешне он разговаривает так же, как его товарищи, и ничуть не отличается от них своим поведением. Разгадать его подлинную сущность, скрывающуюся за привычной маской, очень труд-

но; в самом деле, из-за такого способа действий и языка его истинное лицо оказывается как бы спрятанным под толстым слоем ваты.

В настоящее время все обстоит иначе. В луче света, прорвавшемся к нам в это грозное время, сущность людей и вещей предстает перед нами в своем неприкрытом виде. В каждом человеке, в каждом поступке мы отчетливо различаем цели, сильные и слабые стороны и страсти, движущие или вызываемые ими. В условиях столь быстро изменяющейся обстановки привычные сложившиеся отношения уже не дают никаких преимуществ: условности отмирают, как созревшие плоды.

В условиях разразившейся катастрофы люди пытаются ослабить экономический кризис и рассмотреть вопрос о необходимости наднациональных политических организаций. Лишь ценой падений и взлетов нации могут продолжать свое развитие. Если бы тревоги, переживаемые нами, завершились созданием лучшего мира! Мы должны выполнить еще один долг, более высокий, чем решение проблем нашей эпохи: сохранить те из наших благ, которые носят наиболее возвышенный и непреходящий характер, благ, наполняющих смыслом нашу жизнь, благ, которые мы хотим передать нашим детям в более прекрасном и чистом виде, чем получили их от наших предков.

Эта речь была произнесена 3 октября в Лондоне на митинге, посвященном сбору средств для комитета помощи беженцам. Председательствовал Э. Резерфорд. Сообщение о митинге было помещено в газете «Times» от 4 октября 1933 г.

ПАМЯТИ ПАУЛЯ ЭРЕНФЕСТА *

В наши дни люди с выдающимися качествами так часто кончают жизнь самоубийством, что мы уже не видим в этом ничего необычного. Но решение расстаться с жизнью проистекает, вообще говоря, из неспособности (а иногда и из отвращения) приспособиться к новым и более трудным *внешним* условиям. Отказ прожить жизнь до естественного конца вследствие нестерпимых внутренних конфликтов — редкое сегодня событие среди людей со здоровой психикой; иное дело среди личностей возвышенных и в высшей степени возбудимых душевно. Такой внутренний конфликт привел к кончине нашего друга Пауля Эренфеста. Те, кто были знакомы с ним так же хорошо, как было дано мне, знают, что эта чистая личность пала жертвой главным образом такого конфликта совести, от которого в той или другой форме не гарантирован ни один университетский профессор, достигший пятидесятилетнего возраста.

Мы познакомились 25 лет тому назад. Он посетил меня в Праге, куда приехал прямо из России; как еврей, он был лишен там возможности преподавать в высших учебных заведениях. Поэтому он искал себе поле деятельности в Центральной или Западной Европе. Но об этом мы говорили мало, потому что состояние науки того времени поглотило почти все наши беседы. Мы оба отдавали себе отчет, что классическая механика и теория электрического поля оказались недостаточными для объяснения явлений теплового излучения и молекулярных процессов (статистическая теория); не создавалось впечатления, чтобы Эренфест видел путь выхода из этого положения. Логическая брешь в планковской теории излучения, которой мы тем не менее восхищались, была для нас очевидной. Мы обсуждали также теорию относительности, которую он воспринял хотя и несколько скептически, но отдавая ей должное со свойственной ему

* *Nachruf Paul Ehrenfest*. В кн.: «Almanak van het Leidsche Studencorps». Leiden — Doesburg, 1934.

способностью критического суждения. За несколько часов мы стали настоящими друзьями, будто наши чаяния и мечты были одинаковыми. Нас соединила тесная дружба, продолжавшаяся до его смерти.

Его величие заключалось в чрезвычайно хорошо развитой способности улавливать самое существо теоретического понятия и настолько освободить теорию от ее математического наряда, чтобы лежащая в ее основе простая идея проявлялась со всей ясностью. Эта способность позволяла ему быть бесподобным учителем. По этой же причине его приглашали на научные конгрессы, ибо в обсуждениях он всегда вносил изящество и четкость. Он боролся против расплывчатости и многословия; при этом пользовался своей пронзительностью и бывал откровенно неучтив. Некоторые его выражения могли быть истолкованы как высокомерные, но его трагедия состояла именно в почти болезненном неверии в себя. Он постоянно страдал от того, что у него способности критические опережали способности конструктивные. Критическое чувство обкрадывало, если так можно выразиться, любовь к творению собственного ума даже раньше, чем оно зарождалось.

Вскоре после нашей первой встречи в карьере Эренфеста произошел решительный поворот. Наш высокочтимый наставник Лоренц, желая удалиться от систематического чтения лекций в университете и видя в Эренфесте вдохновенного учителя, рекомендовал его в качестве своего преемника. Перед ним, еще молодым, открылось замечательное поле деятельности. Он не только был самым лучшим профессором из людей нашей профессии, которого я знал, но его страстно занимали становление и судьба людей, особенно его студентов. Понимать других, завоевать их дружбу и доверие, помогать тому, кто был стеснен внешней или внутренней борьбой, ободрять молодые таланты — все это было его истинным призванием, даже больше чем углубление научных вопросов. В Лейдене его любили и уважали студенты и коллеги. Они знали его абсолютную преданность делу преподавания и постоянную готовность прийти на помощь. Не должен ли он был быть счастливым человеком?

На самом деле он был несчастнее всех бывших мне близкими людей. Причина состояла в том, что он не чувствовал себя на уровне той высокой задачи, которую должен был выполнять. Чем помогало ему всеобщее уважение? Его постоянно терзало объективно необоснованное чувство несовершенства, часто лишавшее его душевного покоя, столь необходимого для того, чтобы вести исследования. Он так страдал, что был вынужден искать утешения в развлечениях. Частые беспцельные путешествия, увлечение радио и многие другие черты его тревожной жизни происходили не от потребности покоя или безвредных маний, а скорее от странной и настойчивой потребности к бегству, вызванной психическим конфликтом, о котором мы говорили.

В последние годы это состояние обострилось из-за удивительно бурного развития теоретической физики. Всегда трудно преподавать вещи, которые сам не одобряешь всем сердцем; это вдвойне трудно фанатически чистой душе, для которой ясность — все. К этому добавлялась все возрастающая трудность приспособляться к новым идеям, трудность, которая всегда подстерегает человека, перешагнувшего за пятьдесят лет. Не знаю, сколько читателей этих строк способны понять эту трагедию. Но все-таки она была главной причиной его бегства из жизни.

Мне кажется, что тенденция чрезмерно критиковать самого себя связана с впечатлениями детства. Умственное унижение и угнетение со стороны невежественных эгоистичных учителей производит в юной душе опустошения, которые нельзя загладить и которые оказывают роковые влияния в зрелом возрасте. О силе такого впечатления у Эренфеста можно судить по тому, что он отказался доверить какой-нибудь школе своих нежно любимых детей.

Большую, чем у большинства людей, роль сыграли в жизни Эренфеста его отношения с друзьями. Его симпатии и антипатии, основанные на суждениях морального порядка, фактически властвовали над ним. Самой сильной привязанностью в его жизни была жена и помощница, личность исключительно сильная и смелая, равная ему по интеллекту. Возможно, что ее ум не был столь проворным, гибким и чувствительным, как его собственный, но ее уравновешенность, независимость, стойкость перед трудностями, цельность мысли, чувства и действия были для него благодеянием, за которое он платил обожанием и любовью, какую мне не часто приходилось видеть в жизни. Случайная отчужденность между ними была страшным экспериментом, против которого его раненая душа была уже неспособна бороться.

Мы, чьи жизни обогащались силой и цельностью его ума, доброжелательностью и теплотой его щедрой души и в не меньшей мере его юмором и сарказмом, знаем, что потеряли с его смертью. Он продолжает жить в своих студентах и в тех, чьи помыслы направлял.

Напечатано также в сб.: A. E i n s t e i n, [Out of My later Years, (236—239), под названием «Paul Ehrenfest in Memorial». Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

ПАМЯТИ МАРИИ КЮРИ*

Сейчас, когда завершилась жизнь такой выдающейся личности, как мадам Кюри, нельзя ограничиваться воспоминанием только о том, что дали человечеству плоды ее творчества. Моральные качества выдающейся личности имеют, возможно, большее значение для данного поколения и всего хода истории, чем чисто интеллектуальные достижения. Последние зависят от величия характера в значительно большей степени, чем это обычно принято считать.

К моему великому счастью, в течение двадцати лет мы были связаны с мадам Кюри возвышенной и безоблачной дружбой. Мое восхищение ее человеческим величием постоянно росло. Сила ее характера, чистота помыслов, требовательность к себе, объективность, неподкупность суждений — все эти качества редко совмещаются в одном человеке. Она в любой момент чувствовала, что служит обществу, и ее большая скромность не оставляла места для самолюбования. Ее постоянно угнетало чувство жестокости и несправедливости общества. Именно это придавало ей вид внешней строгости, так легко неправильно понимаемой теми, кто не был к ней близок, — странной строгости, не смягченной каким-либо искусственным усилием.

Наиболее выдающийся подвиг всей ее жизни — доказательство существования радиоактивных элементов и их получение — обязан своим осуществлением не только смелой интуиции, но и преданности делу, упорству в выполнении работы при самых невероятных трудностях, что не часто встречается в истории экспериментальной науки.

Если бы европейские интеллигенты обладали даже небольшой частью силы характера мадам Кюри и ее преданности делу, Европу ждало бы более блестящее будущее.

* *Tribute to Marie Curie*. New York Times, 15 Apr. 1934. Русский перевод напечатан в сб. «Физика и реальность».

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ Л. ИНФЕЛЬДА „МИР В СВЕТЕ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ“ *

Чем более тонкой и специализированной становится наука, тем сильнее чувствуется необходимость постичь ее существенные черты наглядно и легко, без технического аппарата. Но может возникнуть сомнение: что останется от физики, если лишить ее всех математических средств?

Последующее изложение Л. Инфельдом физики материи служит живым ответом современности на этот вопрос. Оно написано самостоятельно мыслящим молодым ученым, который активно и страстно переживает духовную борьбу в этой области. Каждый интеллигентный человек, даже неспециалист, может глубоко вникнуть в современные физические проблемы. Эта драма вызывает у жаждущего понимания читателя не менее напряженное внимание, чем увлекательный роман.

Но и ученый получит кое-что из такой книги. Он с удовольствием увидит живое отражение проблем, которые его мучают, раскрытое просто, без больших подробностей, но все же достаточно ясно. Испытываешь радостное и вдохновляющее чувство, видя проблему изложенной кратко и живо во всем ее разнообразии и во всех ее связях.

Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

* *Introduction.* В кн.: L. Infeld. The World in Modern Science. London, 1935.

ПАМЯТИ ДЕ СИТТЕРА *

Профессор де Ситтер был одним из наиболее выдающихся ученых в области астрономии. Кроме того, он внес важный вклад в теорию относительности. Например, с помощью спектроскопических наблюдений за двойными звездами он показал, что скорость света не зависит от динамического состояния источника света. Де Ситтер внес значительный вклад в решение важной космологической проблемы о структуре пространства в теории относительности. Его смерть является тяжелой утратой для астрономии и всей научной жизни Голландии.

Принстон, Нью Джерси, 21 ноября

* New York Times, 22 November 1934.

**РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ Р. ТОЛМЕНА
„ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ, ТЕРМОДИНАМИКА
И КОСМОЛОГИЯ“ ***

Книга Толмена представляет собой правильное, обстоятельное и ясное изложение всего содержания специальной и общей теории относительности. При этом автор, обладающий острым, критическим умом, ограничил себя феноменологическим изложением, опустив многочисленные попытки объяснить с помощью методов теории относительности связь с электромагнитным полем и строение материи. Это кажется вполне оправданным, потому что ни одна из этих попыток, отличающихся друг от друга коренным образом, не привела до сих пор к убедительным результатам. Не учтены в книге и попытки релятивистской трактовки квантовой теории; как известно, они пока привели только к частичным результатам. Таким путем автору удалось, по моему мнению, дать систематическое изложение тех методов и результатов теории относительности, которые должны, как это кажется сейчас, войти в любую будущую теорию, способную глубже проникнуть в механизм происходящего.

Особенно тщательно рассмотрены те разделы, в методическом построении которых автор сам принял видное участие: релятивистское изложение термодинамики и так называемая космологическая проблема, т. е. изучение структуры пространственно-временного континуума в целом, без учета пространственной неравномерности распределения (астрономического) материи в космосе. В связи с космологической проблемой следует сделать одно замечание, относящееся не только к этой книге, но и ко всем новым публикациям по этому вопросу: введение космологического члена в уравнения «поля» казалось необходимым, пока вынуждены были считать, что средняя плотность материи, и соответственно энергии, в мире не зависит от времени. Но с формально-теоретической точки зрения введение такого члена является чистым произволом. С тех пор, как стало известно о расширении звездной системы, для его введения нет ни логических, ни фи-

* [Review of] R. Tolmen. Relativity, Thermodynamics and Cosmology. Oxford, 1934, Science, 1935, 80, 358.

зических доводов. Поэтому при рассмотрении космологической проблемы представляется естественным отказаться от введения Λ -члена до тех пор, пока для этого введения не появятся опытные основания.

Особенно ценным в книге Толмена я нахожу исчерпывающее изложение предсказанных теорией закономерностей в туманностях, так как именно они, в первую очередь, кажутся предназначенными для пополнения наших знаний о строении пространственно-временного континуума.

Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

ПАМЯТИ ЭММИ НЕТЕР*

Большинство людей все свои силы расходуют в борьбе за свой хлеб насущный. Даже многие из тех, кого судьба или какое-либо особое дарование избавили от необходимости вести эту борьбу, большую часть сил отдают умножению мирских благ и своего состояния. За подобными усилиями, направленными к накоплению всяческих благ, весьма часто кроется иллюзия, будто в этом и состоит наиболее существенная и желанная цель, к которой надлежит стремиться. К счастью, существует меньшинство, состоящее из тех, кто рано осознал, что самые прекрасные переживания и наибольшее удовлетворение человечество получает не извне, а что они связаны с развитием собственных чувств, мыслей и поступков каждого отдельного индивидуума. Подлинные художники, исследователи и мыслители, всегда были людьми такого рода. Как бы незаметно ни проходила жизнь этих людей, плоды их усилий оказывались самым драгоценным вкладом в то наследство, которое поколение оставляет своим преемникам.

Несколько дней тому назад в возрасте пятидесяти трех лет скончалась выдающийся математик профессор Эмми Нетер, когда-то связанная с Геттингенским университетом, а в последние два года работавшая в колледже Брин Моур. По отзывам наиболее компетентных из ныне живущих математиков, фрейлейн Эмми Нетер входила в число самых значительных и самых творческих гениев математики, появившихся с тех пор, как женщины стали получать высшее образование. В области алгебры, которой наиболее одаренные математики занимались на протяжении столетий, она открыла методы, оказавшие огромное влияние на развитие современного поколения молодых математиков. Чистая математика — это своего рода поэзия логики идей. Математики пытаются найти как можно более общее представление об операции, которое позволило бы просто, логично и единообразно охватить возможно более широкий круг формальных соот-

* *The late Emmy Noether.* New York Times, 4 May 1935. (Письмо редактору.)

ношений. Стремясь достичь идейного, логического изящества, они открыли формулы, необходимые для более глубокого проникновения в законы природы.

Эмми Нетер родилась в еврейской семье, отличавшейся своей любовью к познанию, из-за своего происхождения она не смогла занять в своей стране подобающего ей академического положения, несмотря на все усилия великого геттингенского математика Гильберта. Все же ей удалось собрать вокруг себя в Геттингене группу студентов и исследователей, уже получивших признание и как научные работники, и как преподаватели. Ее собственная бескорыстная огромная по объему работа, которую она вела на протяжении многих лет, была отмечена новыми правителями Германии ее отставкой, что означало для Нетер потерю всяких средств для поддержания жизни и возможности продолжения математических исследований. Предусмотрительные друзья науки в США сумели, к счастью, подыскать для нее место в колледже Брин Моур и в Принстоне, где она вплоть до своей кончины находила не только коллег, дороживших ее дружбой, но и благодарных учеников, чей энтузиазм сделал последние годы ее жизни самыми счастливыми и, наверно, самыми плодотворными за всю ее трудовую жизнь.

Принстон, 1 мая 1935.

ФИЗИКА И РЕАЛЬНОСТЬ *

§ 1. Общие соображения о методе науки

Часто и, конечно, не без основания говорят, что естествоиспытатели — плохие философы. Не казалось ли бы тогда естественным, чтобы физик предоставил заботы о философствовании философу? Так на самом деле и надо было поступать в те времена, когда физик верил, что он располагает прочной системой законов и основных понятий, установленных настолько твердо, что волны сомнений не могли их касаться. Но это уже перестало быть справедливым в такую эпоху как наша, когда проблематичными стали даже самые основы физики. В настоящее время, следовательно, когда эксперимент заставляет нас искать новый и более солидный фундамент, физик уже не может просто уступить философу право критического рассмотрения теоретических основ; он, безусловно, лучше знает и чувствует, в чем слабые стороны этой основы. В поисках нового фундамента он должен стараться полностью понять, до какого предела используемые им понятия обоснованы и необходимы.

Вся наука является не чем иным, как усовершенствованием повседневного мышления. Поэтому критический ум физика не может ограничиваться рассмотрением понятий только его собственной области. Он не может двигаться вперед без критического рассмотрения значительно более сложной проблемы: анализа природы повседневного мышления.

В нашем подсознании проходит вереница воспринятых опытов, сохраняющихся в памяти картин, представлений и ощущений. В противоположность психологии физика непосредственно рассматривает только ощущения, чувственные восприятия, пытаясь «понять» связи между ними. Само понятие нашего повседневного мышления о «реальном внешнем мире» также опирается исключительно на чувственные восприятия.

Прежде всего мы должны отметить, что нельзя отличить чувственные восприятия от представлений или, по крайней мере, нельзя это сделать с абсолютной уверенностью. Мы не хотим вступать в обсуждение этой про-

* *Physik und Realität*. Journ. Franklin Institut, 1936, 221, 313—347 (немецкий текст) и 349—382 (английский текст).

блемы, которая также касается понятия реальности, но будем считать чувственный опыт как данный, т. е. как физический опыт особого рода.

Я думаю, что первым шагом в познании «реального внешнего мира» является формирование понятия телесных объектов, причем телесных объектов разного рода. Из всего многообразия наших чувственных восприятий мы мысленно выделяем и произвольно берем определенные комплексы ощущений, которые часто повторяются (частично вместе с чувственными впечатлениями, интерпретируемыми как проявления ощущений других лиц), и сопоставляем им некоторое определенное понятие — понятие телесных объектов. С логической точки зрения это понятие не тождественно совокупности ощущений, к которому оно относится; это — свободное творение человеческого (или животного) разума. С другой стороны, смысл понятия и его оправданность определяются совокупностью ощущений, которые мы ассоциируем с ним.

Второй шаг состоит в том, что в нашем мышлении (которое определяет наше ожидание) мы приписываем понятию телесного объекта смысл, который еще в большей мере независим от чувственного ощущения, первоначально его породившего. Именно это мы хотим выразить, когда приписываем телесному объекту «реальное существование». Оправдание такого утверждения основано исключительно на том факте, что с помощью таких понятий и установленных между ними мысленных отношений мы способны ориентироваться в лабиринте ощущений. Эти понятия и отношения, несмотря на то, что они являются свободными творениями нашего ума, представляют нам более прочными и нерушимыми, чем даже сами по себе отдельные чувственные восприятия, характер которых никогда не позволяет полностью гарантировать, что они не являются результатом иллюзии или галлюцинации. С другой стороны, эти понятия и отношения, в особенности допущение существования реальных объектов и, вообще говоря, существование «реального мира», оправданы только в той мере, в какой они связаны с чувственными восприятиями, между которыми они образуют мысленную связь.

Сам факт, что совокупность наших чувственных восприятий с помощью мышления (оперирование понятиями, создание и использование определенных функциональных соотношений между ними, сопоставление чувственных восприятий этим понятиям) может быть приведена в порядок, является, по-моему, поразительным, и мы никогда его не поймем. Мы можем сказать, что «вечная загадка мира — это его познаваемость». Одна из больших заслуг Канта состоит в том, что он показал бессмысленность утверждения о реальности внешнего мира без этой познаваемости.

Когда мы говорим о «познаваемости», то смысл этого выражения совсем прост. Оно включает в себя приведение в определенный порядок чувствен-

ных восприятий путем создания общих понятий, установление соотношений между этими понятиями, и между последними и чувственным опытом; эти соотношения устанавливаются всеми возможными способами. В этом смысле мир нашего чувственного опыта познаваем. Сам факт этой познаваемости представляется чудом.

По моему мнению, нельзя ничего утверждать априори относительно способа, с помощью которого должны быть образованы и связаны между собой эти понятия и как мы должны сопоставлять их чувственному опыту. Определяющим фактором, направляющим создание такого порядка в чувственном опыте, является только конечный успех. Все, что необходимо, это *установление* ряда правил, так как без таких правил познание в указанном смысле было бы невозможно. Эти правила можно сравнить с правилами игры, которые, будучи произвольными, делают игру возможной только благодаря своей строгости. Но такая фиксация никогда не может быть окончательной. Они будут справедливы только для определенной области их применения (т. е. они не являются окончательными категориями в смысле Канта).

Связь между элементарными понятиями повседневного мышления и комплексами чувственного опыта можно понять только интуитивно, ее нельзя подогнать под научную или логическую схему. Совокупность этих связей, — ни одну из которых нельзя выразить на языке понятий, — единственное, что отличается великое здание науки от логической, но пустой системы понятий. С помощью этих связей чисто абстрактные теоремы становятся утверждениями, относящимися к комплексам чувственных ощущений.

Назовем «первичными» те понятия, которые непосредственно и интуитивно связаны с типичными комплексами чувственных ощущений. Все остальные понятия с физической точки зрения обладают смыслом только в той мере, в какой теоремы связывают их с первичными понятиями. Эти теоремы представляют собой частично определения понятий (и логически выведенные из них утверждения), частично — теоремы, которые нельзя вывести из определений, но которые по крайней мере косвенно выражают соотношения между «первичными понятиями», и, тем самым, — между чувственными восприятиями. Теоремы этого последнего рода являются «утверждениями относительно реальности» или «законами природы», т. е. теоремами, которые должны показать свою полезность, когда они применяются к чувственным восприятиям, охватывающим первичные понятия. Вопрос о том, какие теоремы должны считаться определениями, а какие — законами природы, зависит в большой мере от выбранных представлений. В действительности, установление этого различия становится совершенно необходимым только при определении того, не является ли вся система понятий с физической точки зрения бессодержательной.

Расслоение научной системы

Целью науки является, с одной стороны, возможно более *полное* познание связи между чувственными восприятиями в их совокупности и, с другой стороны, достижение этой цели путем *применения минимума первичных понятий и соотношений* (добиваясь, насколько это возможно, логического единства в картине мира, т. е. стремясь к минимуму логических элементов).

Наука занимается совокупностью первичных понятий, т. е. понятий, непосредственно связанных с чувственными восприятиями, и теоремами, устанавливающими связь между ними. На первой стадии своего развития наука не содержит ничего другого. Короче говоря, наше повседневное мышление удовлетворено этим уровнем. Но такое состояние вещей не может удовлетворять истинно научный интеллект, потому что совокупность понятий и полученных таким образом соотношений лишена логического единства. Чтобы устранить этот недостаток, изобретают систему с меньшим числом понятий и соотношений, систему, в которой первичные понятия и соотношения «первого слоя» сохраняются в качестве производных понятий и соотношений. Эта новая, «вторичная система», которая характеризуется бóльшим логическим единством, содержит зато только такие собственные элементарные понятия (понятия второго слоя), которые прямо не связаны с комплексами чувственных ощущений. Продолжая усилия для достижения логического единства, мы приходим, как следствие вывода понятий и соотношений второго слоя (и косвенно — первого слоя), к третьей системе, еще более бедной первичными понятиями и соотношениями. Эта история будет продолжаться до тех пор, пока мы не достигнем наибольшего мыслимого единства и наименьшего числа понятий в логической основе, которое еще совместимо с наблюдениями наших чувств. Мы не знаем, приведет это стремление или нет к определенной системе. Если поинтересуются нашим мнением, то мы склонны ответить отрицательно. Однако, преодолевая эти трудности, мы никогда не оставим надежду, что эта величайшая из всех цель действительно может быть достигнута с очень высоким приближением.

Сторонник абстрактного метода или индукции может назвать наши слои «степенями абстракции», но я не считаю правильным скрывать логическую независимость понятия от чувственного восприятия. Отношение между ними аналогично не отношению бульона к говядине, а скорее — отношению гардеробного номера к пальто.

Впрочем, слои не разделены четко. Также не совсем ясно, какие понятия относятся к первичному слою. Надо сказать, что мы имеем дело со свободно образованными понятиями, которые с достаточной для практического использования достоверностью интуитивно связаны с чувственными

восприятиями так, что для каждого конкретного опыта не возникает сомнений в справедливости высказанных утверждений. Существенное состоит в стремлении представить в близкой связи с опытом множество понятий и теорем как теоремы, выведенные логически из возможно более узкого круга свободно выбираемых фундаментальных понятий и соотношений (аксиом). Но свобода выбора здесь — все-таки особого рода. Она непохожа на свободу пишущего роман, а скорее похожа на свободу человека, обязанного решать хорошо составленный кроссворд. Он, собственно говоря, может предложить любое слово в качестве решения, но только *одно* слово действительно решает кроссворд во всех его частях. То, что природа — в том виде, в котором она воспринимается нашими пятью чувствами, — принимает характер красивой загадки, является делом убеждения. Успехи, достигнутые наукой до сих пор, дают, правда, определенную поддержку этому убеждению.

Множественность слоев, о которых говорилось выше, соответствует разным стадиям прогресса, являющегося результатом борьбы за единство в ходе развития науки. Но по отношению к конечной цели промежуточные слои имеют лишь временный характер. В конечном счете они должны исчезнуть, как не имеющие прямого отношения к делу. Однако мы должны заниматься современной наукой, где эти слои отражают отдельные, частично проблематичные успехи, которые, с одной стороны, подтверждают друг друга, но, с другой — угрожают друг другу, ибо современная система понятий содержит глубоко укоренившиеся противоречия, с которыми мы позже встретимся.

Целью последующего изложения будет показать, какими путями создающий разум человека добивается создания фундамента физики, который является логически настолько единообразным, насколько это оказалось возможным.

§ 2. Механика и попытки основать на ней всю физику

Важным свойством нашего чувственного опыта и вообще всего нашего опыта является его последовательность во времени. Этого рода последовательность приводит к мысленному представлению о субъективном времени, как некоторой схеме для упорядочения нашего опыта. Как мы увидим позже, субъективное время приводит затем, через понятия телесного объекта и пространства, к понятию объективного времени.

Понятию объективного времени все же предшествует понятие пространства, а последнему — понятие телесного объекта. Последнее непосредственно связано с комплексами чувственных восприятий. Уже показано, что характерное свойство понятия «телесного объекта» состоит в том, что ему

можно приписать существование, независимое от времени (субъективного) и от его восприимчивости нашими чувствами. Мы это делаем, хотя и наблюдаем его изменение во времени. Пуанкаре правильно настаивал на том, что мы различаем двоякого рода изменения телесного объекта: «изменения состояния» и «изменения положения». Последние, говорил он, могут регулироваться¹ произвольным движением нашего тела.

Существование предметов, которым в определенной сфере ощущений нельзя приписывать никаких изменений состояния, а только изменения положения, является фактом фундаментального значения для формирования понятия пространства (в определенной степени даже для обоснования понятия телесного объекта). Мы будем называть такой предмет «практически твердым».

Если в качестве объекта ощущения рассматриваются одновременно, т. е. просто как целое, два практически твердых тела, то для этого ансамбля существуют изменения, которые нельзя считать изменениями положения ансамбля, хотя для каждого из составляющих они являются таковыми. Это ведет к понятию «изменения относительного положения» двух предметов, а также к понятию их «относительного положения». Мы находим, впрочем, что среди относительных положений имеется одно особого рода, которое мы называем «контактом»¹.

Постоянный контакт двух тел в трех или более «точках» означает, что они соединены в сложное квазитвердое тело. Можно говорить, что второе тело образует тогда продолжение (квазитвердое) первого и, в свою очередь, может быть продолжено квазитвердо. Возможность квазитвердого продолжения тела не ограничена. Истинной сущностью мысленного квазитвердого продолжения тела B_0 является определяемое им бесконечное «пространство».

Тот факт, что каждый любым образом расположенный телесный объект может быть приведен в контакт с квазитвердым продолжением определенным образом выбранного тела B_0 (тела отсчета), является, по-моему, эмпирической основой нашего понятия о пространстве. В донаучном мышлении роль B_0 и его продолжения играла твердая кора Земли. Само название геометрии указывает, что понятие пространства психологически связано с Землей как неподвижным телом.

Смелое введение понятия «пространства», предшествующее всей научной геометрии, превращает наше мысленное понятие соотношения положений предметов в понятие о положении этих телесных предметов в «пространстве». Это представляет собой большое формальное упрощение. С помощью

¹ Это в природе вещей, что мы не можем говорить об этих вопросах иначе, чем с помощью созданных нами понятий, которые недоступны определению. Тем не менее существенно, чтобы мы пользовались только понятиями, соответствие которых нашему опыту находится вне сомнений.

понятия пространства достигается, между прочим, такая ситуация, когда каждое описание положения рассматривается как описание контакта; утверждение: точка телесного предмета, расположенная в некоторой точке пространства P , означает, что предмет касается точки P тела отсчета типа B_0 (предполагаемого приблизительно продолженным) в рассматриваемой точке.

В греческой геометрии пространство играло только качественную роль, потому что хотя положение тела в пространстве безусловно считалось заданным, оно не описывалось числами. Декарт первым ввел этот метод. На его языке все содержание евклидовой геометрии могло быть аксиоматически основано на следующих утверждениях: 1) две фиксированные точки твердого тела определяют некоторое расстояние; 2) точкам пространства можно сопоставить тройки чисел x_1, x_2, x_3 таким образом, что для каждого расстояния $P' - P''$, крайние точки которого имеют координаты x'_1, x'_2, x'_3 и x''_1, x''_2, x''_3 , выражение

$$s^2 = (x''_1 - x'_1)^2 + (x''_2 - x'_2)^2 + (x''_3 - x'_3)^2$$

не зависит от положения данного тела и положения всех остальных тел.

Это число s (положительное) означает длину отрезка, или расстояние между точками пространства P' и P'' (которые совпадают с точками P' и P'' прямой).

Формулировка намеренно так выбрана, что она ясно выражает не только логическое и аксиоматическое, но и эмпирическое содержание евклидовой геометрии. Правда, чисто логическое (аксиоматическое) представление последней обладает большей простотой и ясностью. Но зато оно вынуждено отказаться от представления связи между идеальным построением и чувственным восприятием, а ведь значение геометрии для физики базируется только на этой связи. Фатальная ошибка, что в основе евклидовой геометрии и связанного с ней понятия пространства лежали потребности мышления, обусловлена тем, что эмпирическая основа, на которую опирается аксиоматическое построение евклидовой геометрии, была предана забвению.

В той мере, в которой можно говорить о существовании в природе твердых тел, евклидова геометрия должна считаться физической наукой, польза которой должна быть показана ее применением к чувственному восприятию. Она касается совокупности законов, которые должны быть действительны для относительных положений твердых тел независимо от времени. Мы видим, что физическое понятие пространства в том виде, в котором оно применялось первоначально в физике, также связано с существованием твердых тел.

С точки зрения физики существенное значение евклидовой геометрии состоит в том, что ее законы не зависят от специфической природы тел, относительные положения которых она изучает. Ее формальная простота

характеризуется свойствами однородности и изотропности (и существованием самих таких свойств).

Понятие пространства, правда, полезно, но не необходимо для собственно геометрии, т. е. для формулировки правил, касающихся относительных положений твердых тел. В противоположность этому понятие объективного времени, без которого невозможно формулировать основные принципы классической механики, связано с понятием пространственного континуума.

Введение объективного времени содержит в себе два независимых друг от друга утверждения.

1. Введение объективного времени, связывающего последовательность опытов во времени с показаниями «часов», т. е. с замкнутой системой периодических событий.

2. Введение понятия объективного времени для событий во всем пространстве; только благодаря этому понятию идея местного времени расширяется, становясь идеей о времени в физике.

Замечание, относящееся к первому утверждению. То обстоятельство, что понятие периодического процесса предшествует понятию времени, когда занимаются выяснением происхождения и эмпирического содержания понятия времени, не является, на мой взгляд, «логической ошибкой». Такая концепция соответствует в точности приоритету понятия твердого (или квазитвердого) тела при трактовке понятия пространства.

Дополнительное разъяснение ко второму утверждению. Господствовавшая до появления теории относительности иллюзия, что с точки зрения опыта смысл одновременности пространственно разделенных событий, а следовательно, смысл времени в физике ясен, априори, происходила от того, что в нашем повседневном опыте мы могли пренебрегать временем распространения света. Для такого рассуждения мы привыкли пренебрегать различием между «одновременно увиденным» и «одновременно наступившим», в результате чего стирается разница между временем и местным временем.

Неточность, приписываемая эмпирической точкой зрения понятию времени в классической механике, маскируется аксиоматическим представлением пространства и времени как сущностей, независимых от наших чувств. Такое использование понятий, когда они рассматриваются независимо от эмпирической основы, которой они обязаны своим существованием, не всегда является вредным в науке. Но если думать, что эти понятия, происхождение которых забыто, являются необходимыми и неизбежными спутниками нашего мышления, то это будет ошибкой, которая может стать серьезной опасностью для прогресса науки.

Было счастливым случайностью для развития механики, а следовательно, и для развития физики вообще, что философы прошлого при эмпириче-

ской интерпретации понятия объективного времени не вскрыли отсутствия в нем точности. Полные уверенности в реальной значимости построения пространства — времени, они установили фундамент механики, который мы схематически охарактеризуем так:

(а). Понятие материальной точки: телесный объект, который в отношении своего положения и движения может быть с достаточной точностью описан точкой с координатами x_1, x_2, x_3 . Описание его движения (относительно «пространства» B_0) путем задания x_1, x_2, x_3 как функций времени.

(б). Закон инерции: исчезновение компонент ускорения для материальной точки, достаточно удаленной от всех остальных точек.

(с). Закон движения (для материальной точки): сила = масса $\times$ ускорение.

(д). Закон сил (действие и противодействие между материальными точками).

Здесь (б) является не чем иным, как важным частным случаем (с). Истинная теория существует только тогда, когда заданы законы сил. Для того чтобы система точек, связанных друг с другом постоянным образом, могла вести себя как материальная точка, силы должны подчиняться в первую очередь закону равенства действия и противодействия.

Эти фундаментальные законы вместе с законом Ньютона для силы тяготения образуют основу механики небесных тел. В этой механике Ньютона, в противоположность указанным выше понятиям пространства, происходящим от твердых тел, пространство B_0 входит в форме, которая содержит новую идею: требования (б) и (с) справедливы (при заданном законе силы) не для всего пространства B_0 , а только для некоторого B_0 с близкими условиями движения (инерциальной системы). Вследствие этого координатное пространство приобрело одно независимое физическое свойство, которое не содержалось в понятии чисто геометрического пространства, — обстоятельство, которое представило уму Ньютона обширную тему для размышлений (опыт с ведром)².

Классическая механика является лишь общей схемой; она становится теорией только после явного указания закона сил (д), что с таким успехом было сделано Ньютоном для небесной механики. Но чтобы достигнуть наибольшей логической простоты фундамента, этот теоретический метод неудовлетворителен в том смысле, что законы сил не могут быть получены логическими и точными соображениями, потому что априори их вы-

² Этот недостаток теории мог быть устранен только такой формулировкой механики, которая была бы действительна во всем B_0 . Это был один из шагов, которые привели к общей теории относительности. Другой недостаток, также устраненный введением общей теории относительности, состоял в том, что механика сама по себе не дает основания для равенства тяжелой и инертной масс материальной точки. (Ср. примечание на стр. 227. — *Ред.*)

бор в значительной степени произволен. Даже закон силы тяготения Ньютона отличается от других мыслимых законов силы только своей *результативностью*.

Хотя мы сегодня определенно знаем, что классическая механика недостаточна, чтобы служить фундаментом для всей физики, она всегда находится в центре всего мышления в физике. Причина состоит в том, что, несмотря на значительный прогресс, достигнутый со времен Ньютона, мы еще не пришли к новому фундаменту физики, который позволил бы нам быть уверенными, что вся совокупность исследованных явлений и частично увенчанных успехом теоретических систем сможет быть из него логически выведена. Ниже попытаюсь описать, в чем состоит проблема.

Во-первых, мы должны отдавать себе отчет, до какого предела система классической механики проявила себя способной служить основой для всего ансамбля физики. Так как здесь мы занимаемся только основаниями физики и ее развитием, мы оставляем в стороне чисто формальный прогресс механики (уравнение Лагранжа, канонические уравнения и т. д.). Одно замечание кажется нам необходимым. Понятие «материальной точки» является фундаментальным для механики. Если теперь мы желаем получить механику телесного предмета, который *не может* трактоваться как материальная точка, — а, строго говоря, все «воспринимаемые нашими чувствами» предметы принадлежат к этой категории, — то ставится следующий вопрос: как мы должны представить себе предмет, состоящий из материальных точек, и какие силы нужно предполагать действующими между ними? Если механика претендует на *полное* описание предмета, то этот вопрос необходимо ставить.

Стремление механики считать неизменными эти материальные точки и законы сил, действующих между ними, естественно, ибо изменения во времени находятся вне области механического объяснения. Отсюда видно, что классическая механика должна вести к атомистической структуре материи. И теперь мы устанавливаем с очевидностью, как ошибаются теоретики, думающие, что теория индуктивно выводится из опыта. Даже великий Ньютон не смог избежать этой ошибки (*Hypotheses non fingo* — «Гипотез не придумываю»). Чтобы не запутаться безнадежно в таких рассуждениях (атомистических), наука вначале поступила следующим образом. Механика системы определена, если потенциальная энергия системы задана как функция ее конфигурации. Теперь, если действующие силы таковы, что они обеспечивают сохранение определенных структурных свойств системы, то конфигурация с достаточной точностью может быть описана сравнительно небольшим числом переменных q_i ; потенциальная энергия принимается в расчет только в той мере, в какой она зависит от *этих переменных* (например, описание конфигурации практически твердого тела шестью переменными).

Вторым способом приложения механики, при котором избегается учет деления материи на «реальные» материальные точки, является механика так называемых сплошных сред. Эта механика характеризуется фиктивным допущением, что плотность и скорость материи непрерывным образом зависят от координат и времени и что незаданная явно часть взаимодействия может рассматриваться как сила, действующая на поверхность (сила давления), которая, с другой стороны, является непрерывной функцией положения. Сюда относятся гидродинамика и теория упругости твердых тел. Эти теории избегают явного введения материальных точек и пользуются фикциями, которые в свете основ классической механики могут иметь только приближенное значение.

Эти категории науки имеют большое *практическое* значение; кроме того, они создали, благодаря распространению их идей в мире математики, формальные вспомогательные орудия (уравнения в частных производных), которые необходимы для последующих попыток формулировки всех аспектов физики способом, отличающимся от ньютоновского своей новизной.

Эти два способа приложения механики принадлежат к так называемой «феноменологической» физике. Этот вид физики характеризуется применением, насколько это возможно, весьма близких к опыту понятий; но именно вследствие этого приходится в значительной мере отказываться от единства фундамента. Теплота, электричество, свет описываются специальными функциями состояния и константами вещества, отличными от механических. Определение взаимной зависимости всех этих переменных было делом скорее эмпирическим. Многие современники Максвелла видели в таком представлении конечную цель физики, которая, думали они, может быть достигнута из опыта чисто индуктивным путем, на основе сравнительно тесного контакта используемых понятий и опыта. С точки зрения теории познания близко к этой позиции стояли Ст. Милль и Э. Мах.

По-моему, величайший подвиг механики Ньютона состоит в том, что ее постоянное применение привело к выходу за рамки феноменологических представлений, особенно в области тепловых явлений. Это произошло в кинетической теории газов и в более общем виде в статистической механике. Первая объединила уравнение состояния идеальных газов, вязкость, диффузию газов и установила логическую связь между явлениями, которые, с точки зрения прямого опыта, не имели абсолютно ничего общего.

Статистическая механика дала механическую интерпретацию идей и законов термодинамики и открыла предел приложения ее понятий и законов в классической теории теплоты. Кинетическая теория, которая намного обогнала феноменологическую физику в том, что касается логического единства своих основ, кроме того, дала для истинных размеров атомов и молекул определенные значения, которые получились различными *независимыми* методами и были, таким образом, установлены в областях, где они

не могли подвергаться серьезному сомнению. Эти решающие успехи были достигнуты в результате отождествления атомных структурных единиц с материальными точками, хотя чисто умозрительный характер таких структурных единиц и был очевиден. Никто не может надеяться когда-либо «прямо воспринимать» атом. Законы, описывающие поведение величин, более тесно связанных с экспериментальными данными (например, температуры, давления, скорости), были выведены из основных идей путем сложных расчетов. Таким образом, физика (по крайней мере часть ее), первоначально построенная феноменологически, была переведена с помощью механики Ньютона, примененной к атомам и молекулам, на основу, значительно более удаленную от прямого опыта, но зато более единого характера.

§ 3. Концепция поля

В объяснении оптических и электрических явлений механика Ньютона была существенно менее успешна, чем в указанных выше областях. Правда, в своей корпускулярной теории света Ньютон пытался сводить свет к движению материальных точек. Однако позже, когда явления поляризации, дифракции и интерференции предписывали его теории все более искусственные видоизменения, волновая теория Гюйгенса восторжествовала над ней.

Эта теория, очевидно, обязана своим возникновением явлениям кристаллооптики и теории звука, уже достаточно развитой к этому моменту. Нужно признать, что теория Гюйгенса также была основана на классической механике. Но как носитель волновых движений должен был рассматриваться всепроникающий эфир, к построению которого из материальных точек не могли привести никакие известные явления. Нельзя было дать ясную картину ни внутренних сил, управляющих эфиром, ни сил, действующих между эфиром и «весомой» материей. Вследствие этого основы этой теории остались навечно темными. Истинной основой теории было уравнение в частных производных, сведение которого к механическим элементам оставалось всегда проблематичным.

В теоретическую концепцию электрических и магнитных явлений были вновь введены особый рода массы, причем допускалось существование сил, действующих между ними на расстоянии, подобно гравитационным силам Ньютона. Этот особый вид материи казался тем не менее лишенным фундаментального свойства инерции, и силы, действующие между этими массами и весомой материей, остались неизвестными. К приведенным трудностям добавлялся еще не втискиваемый в схему классической механики полярный характер этих видов материи. Основа теории стала еще менее удовлетворительной, когда узнали об электродинамических явлениях,

хотя эти явления позволили физикам объяснить магнитные явления электродинамическими и сделали излишним допущение о магнитных массах. Возмездием за этот успех была необходимость допущения все возрастающей сложности сил взаимодействия между движущимися электрическими массами.

Теория электрического поля Фарадея и Максвелла, благодаря которой удалось выйти из этого затруднительного состояния, представляет, очевидно, наиболее глубокое превращение, которое основание физики претерпело со времени Ньютона. Это был новый шаг в конструктивном развитии теории, который увеличил расстояние между фундаментом теории и тем, что мы можем узнать нашими пятью чувствами. Существование поля проявляется фактически только тогда, когда вводится электрически заряженное тело. Дифференциальные уравнения Максвелла связывают пространственные и временные производные электрического поля и магнитного поля. Электрические заряды выступают только как области с отличной от нуля дивергенцией электрического поля. Свет появляется в виде электромагнитного волнового процесса в пространстве.

Конечно, Максвелл еще пытался интерпретировать свою теорию поля механически, с помощью моделей эфира. Но эти попытки постепенно отступали и освобожденные от всех ненужных придатков фигурируют, по представлениям Г. Герца, лишь на втором плане, так что в этой теории поле заняло в конце концов то главенствующее положение, которое в механике Ньютона занимали материальные точки. Однако вначале это было применимо только к электромагнитному полю в пустоте.

В своей начальной фазе теория была еще совершенно неудовлетворительной для объяснения явлений внутри вещества, потому что здесь необходимо было ввести два электрических вектора, связанных соотношениями, зависящими от природы среды и недоступными какому-нибудь теоретическому анализу. Аналогичное положение возникает при рассмотрении магнитного поля, а также соотношения между плотностью электрического тока и полем. Для избавления от трудностей Г. А. Лоренц нашел способ, который одновременно указывал путь для электродинамической теории движущихся тел, более или менее свободной от произвольных допущений. Его теория была основана на следующих основных гипотезах.

Повсюду (и внутри весомых тел) местонахождением поля является пустое пространство. Участие материи в электромагнитных явлениях обусловлено тем, что ее элементарные частицы несут неизменные электрические заряды и поэтому подвержены действию ponderomotorных сил и, с другой стороны, обладают свойством порождать поле. Элементарные частицы подчиняются закону движения Ньютона для материальной точки.

Опираясь именно на эту основу, Лоренц добился синтеза механики Ньютона и теории поля Максвелла. Слабость этой теории состоит в том,

что она пытается постигнуть явления, комбинируя уравнения в частных производных (уравнения Максвелла для поля в пустоте) и уравнения в полных производных (уравнения движения точки); этот прием противоестественный. Неудовлетворительность теории явно проявляется в необходимости допустить конечность размеров частиц и, кроме того, в необходимости уклоняться от того факта, что существующее на их поверхности электромагнитное поле становится бесконечно большим. Теория была совершенно неспособна объяснить огромные силы, которые удерживают электрические заряды на отдельных частицах. Лоренц принял эти слабости теории, которые он прекрасно знал, чтобы наконец правильно объяснить явления хотя бы в их общих чертах.

Впрочем, у него было одно соображение, которое выходило за рамки его теории. Вблизи электрически заряженного тела имеется магнитное поле, которое вносит вклад (кажущийся) в его инерцию. Нельзя ли объяснить *полную* инерцию частиц электромагнитным путем? Ясно, что эта задача могла быть разработана удовлетворительно только в том случае, если частицы могли интерпретироваться как регулярные решения электромагнитных уравнений в частных производных. Уравнения Максвелла в их первоначальной форме не позволяли, однако, дать такое описание частиц, потому что соответствующие решения содержали сингулярность. Поэтому физики-теоретики долгое время пытались достигнуть цели видоизменением уравнений Максвелла. Но эти попытки не увенчались успехом. И в результате стоявшая в то время цель — построение чисто полевой электромагнитной теории материи — не была достигнута, хотя нельзя было привести никакие возражения против принципиальной возможности достижения такой цели. Новой попытке в этом направлении препятствовало отсутствие какого-либо систематического метода, ведущего к решению. Тем не менее мне кажется достоверным, что в основе последовательной теории поля помимо понятия поля не должно быть никакого понятия, относящегося к частицам. Вся теория должна основываться только на уравнениях в частных производных и их решениях, свободных от сингулярностей.

§ 4. Теория относительности

Не существует никакого индуктивного метода, который мог бы вести к фундаментальным понятиям физики. Не зная этого обстоятельства, многие исследователи XIX в. стали жертвами серьезной философской ошибки. Очевидно по этой причине молекулярная теория и теория Максвелла могли утвердиться только в сравнительно позднее время. Логическое мышление по необходимости дедуктивное, оно основано на гипотетических представлениях и аксиомах. В какой мере можно ожидать, что

последние избраны именно так, чтобы оправдать надежду достижения определенного успеха?

Наиболее удовлетворительное положение безусловно достигается в том случае, когда новые фундаментальные гипотезы навеяны самим экспериментом. Составляющая основу термодинамики гипотеза о невозможности вечного двигателя представляет пример фундаментальной гипотезы, навеянной экспериментом; это же верно для принципа инерции Галилея. К этой же категории относятся, между прочим, фундаментальные гипотезы теории относительности, которая привела к развитию и неожиданному расширению теории поля и замене основ классической механики.

Успехи теории Максвелла — Лоренца внушили веру в истинность электромагнитных уравнений для пустого пространства, а также, в частности, в утверждение, что свет распространяется «в пространстве» с определенной постоянной скоростью c . Новыполняется ли закон инвариантности скорости света относительно любой инерциальной системы? Если это не справедливо, то одна особая инерциальная система, точнее, состояние особого движения (тела отсчета), отличается от всех остальных. Против этой идеи восстают, однако, все механические и оптические данные нашего опыта.

По этим соображениям стало необходимым рассматривать истинность закона постоянства скорости света для всех инерциальных систем как принцип. Отсюда вытекает, что пространственные координаты x_1 , x_2 , x_3 и время x_4 должны преобразоваться согласно «преобразованиям Лоренца», которые характеризуются инвариантностью выражения

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - dx_4^2,$$

если единица времени выбрана так, что скорость света $c = 1$.

Благодаря такому приему время потеряло свой абсолютный характер и стало рассматриваться как алгебраически подобное (почти) пространственным координатам. Абсолютный характер времени, и в частности одновременности, был опровергнут, и четырехмерное описание было введено как единственно разумное.

Чтобы учесть также эквивалентность всех инерциальных систем относительно всех явлений природы, необходимо постулировать и инвариантность относительно преобразования Лоренца всех систем физических уравнений, выражающих общие законы. Выполнение этого требования составляет содержание специальной теории относительности.

Эта теория совместима с уравнениями Максвелла, но она не совместима с основами классической механики. Правда, уравнения движения материальной точки (и вместе с ними выражения для количества движения и кинетической энергии материальной точки) могут быть видоизменены так, чтобы удовлетворить теории; но понятие силы взаимодействия и вместе с ним

понятие потенциальной энергии системы потеряли свою основу, так как эти понятия базировались на идее абсолютной одновременности. Поле, которое определяется дифференциальными уравнениями, заняло место силы.

Так как теория, о которой идет речь, допускает взаимодействие только между полями, становится необходимой теория гравитационного поля. Действительно, нетрудно сформулировать теорию, в которой, как в теории Ньютона, гравитационное поле может быть сведено к скаляру, являющемуся решением уравнения в частных производных. Во всяком случае, экспериментальные факты, выраженные в теории гравитации Ньютона, ведут к другому направлению — общей теории относительности.

Неудовлетворительным пунктом основ классической механики является двоякая роль, которую играет одна и та же постоянная масса; она входит как «инертная масса» в закон движения и как «тяжелая масса» в закон тяготения. В результате этого ускорение тела в гравитационном поле независимо от содержащейся в нем материи; или в *равномерно-ускоренной* относительно «инерциальной системы» системе координат движение происходит так же, как оно бы происходило в однородном гравитационном поле относительно «покоящейся» системы координат. Если допустить, что эквивалентность этих двух масс является полной, то этим добиваемся приспособления нашей теоретической мысли к тому факту, что тяжелая и инертная масса тождественны.

Отсюда вытекает, что нет никаких доводов считать преимущественность «инерциальных систем» фундаментальным принципом, и мы должны допустить, что *нелинейные* преобразования координат x_1, x_2, x_3, x_4 тоже с полным правом являются эквивалентными. Если произвести такое преобразование системы координат специальной теории относительности, то метрика

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - dx_4^2$$

становится общей (римановой) метрикой $ds^2 = g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$ (суммирование по μ и ν), где $g_{\mu\nu}$, симметричные относительно μ и ν , являются некоторыми функциями $x_1, \dots, x_4$, которые описывают одинаково хорошо как метрические свойства, так и гравитационное поле относительно новой системы координат.

Прогресс в трактовке основ механики, о котором мы говорили, имеет, однако, как показывает более тщательный анализ, то неудобство, что новые координаты не могут быть интерпретированы как результаты измерений с помощью твердых тел и часов, как это делалось в исходной системе (инерциальной системе с исчезающим гравитационным полем).

Переход к общей теории относительности осуществляется с помощью предположения, что указанное представление свойств поля пространства с помощью функций $g_{\mu\nu}$ (т. е. римановой метрикой) обосновано и в *общем* случае, когда не существует системы координат, относительно которой

метрика приобретает простую квазиэвклидову форму специальной теории относительности.

Другими словами, координаты сами по себе уже не выражают метрических соотношений, а только «близость» описанных предметов, координаты которых мало отличаются друг от друга. Все преобразования координат допустимы постольку, поскольку эти преобразования свободны от сингулярностей. Только уравнения, являющиеся ковариантными относительно произвольных в этом смысле преобразований, имеют смысл выражений общих законов природы (постулат общей ковариантности).

Первой целью общей теории относительности является установление предварительной формулировки, которую, пренебрегая требованием, чтобы она сама по себе составляла нечто завершенное, можно было возможно проще связать с «непосредственно наблюдаемыми фактами». Теория гравитации Ньютона дала подобный пример, ограничившись чистой механикой тяготения. Эта предварительная формулировка может быть охарактеризована следующим образом.

1. Понятие материальной точки и ее массы сохраняется. Формулируется закон ее движения, являющийся переводом закона инерции на язык общей теории относительности. Этот закон представляет собой систему уравнений в полных производных, характеризующих геодезическую.

2. Вместо ньютоновского закона гравитационного взаимодействия мы найдем систему наиболее простых общековариантных дифференциальных уравнений, которую можно установить для тензора $g_{\mu\nu}$. Она образуется сведением к нулю однократно свернутого тензора кривизны Римана ($R_{\mu\nu} = 0$).

Эта формулировка позволяет рассматривать проблему планет. Точнее говоря, она позволяет рассматривать проблему движения материальных точек с практически пренебрегаемой массой в поле тяготения, образованном материальной точкой, которую предполагают не обладающей никаким движением (центральная симметрия). Она не учитывает реакции материальных точек, «движущихся» в гравитационном поле, и не принимает во внимание, каким образом центральная масса образует это поле.

Аналогия с классической механикой показывает, что теорию можно дополнить следующим образом. Возьмем уравнение поля

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = -T_{ik},$$

где R обозначает скалярную риманову кривизну, T_{ik} — тензор энергии материи в феноменологическом представлении. Левая часть уравнения выбрана таким образом, что ее дивергенция тождественно равна нулю. Вытекающее отсюда равенство нулю дивергенции правой части дает «уравнения движения» материи в форме уравнений в частных производных для слу-

чая, когда T_{ik} вводит для описания материи только *четыре* функции, совершенно независимых друг от друга (например, плотность, давление и компоненты скорости, где между последними существует тождество, а между давлением и плотностью — уравнение состояния).

При такой формулировке вся механика гравитации сведена к решению одной системы ковариантных уравнений в частных производных. Эта теория избегает всех внутренних противоречий, в которых мы упрекали классическую механику. Она достаточна, насколько мы знаем, для выражения наблюдаемых фактов небесной механики. Но она похожа на здание, одно крыло которого сделано из изящного мрамора (левая часть уравнения), а другое — из плохого дерева (правая часть уравнения). Феноменологическое представление материи лишь очень несовершенно заменяет такое представление, которое соответствовало бы всем известным свойствам материи.

Нетрудно объединить теорию электромагнитного поля Максвелла и теорию гравитационного поля, если ограничиваться пространством, свободным от весомой материи и электрической плотности. Все, что необходимо сделать, — это взять во втором члене приведенного выше уравнения для T_{ik} тензор энергии электромагнитного поля в пустом пространстве и присоединить к системе так измененных уравнений записанное в общековариантной форме уравнение поля Максвелла для пустого пространства. При таких условиях между всеми этими уравнениями будет существовать достаточное для обеспечения их согласованности число дифференциальных тождеств. Можно добавить, что это необходимое формальное свойство всей системы уравнений оставляет произвольным выбор знака T_{ik} , что окажется важным в дальнейшем.

Следствием желания достигнуть для фундамента теории наибольшей возможной степени единства были различные попытки объединить гравитационное и электромагнитное поля в единую формальную и однородную картину. Здесь мы должны отметить, в частности, пятимерную теорию Калуцы и Клейна. Рассмотрев весьма тщательно эту возможность, я нахожу, что предпочтительнее согласиться с отсутствием внутренней однородности первоначальной теории, ибо не думаю, чтобы совокупность гипотез, составляющих основу пятимерной теории, содержала меньше произвола, чем первоначальная теория. То же замечание может быть сделано и относительно проективной разновидности теории, весьма тщательно разработанной, в частности, Дантцигом и Паули.

Предыдущие рассуждения относятся исключительно к теории поля, свободного от материи. Как нужно поступить для того, чтобы получить полную теорию для материи, состоящей из атомов? В такой теории сингулярности безусловно должны быть исключены, потому что без такого исключения дифференциальные уравнения не определяют полностью общее

поле. Здесь, в общей теории относительности, мы встречаемся с той же проблемой теоретического представления поля, которая впервые появилась в связи с чисто максвелловской теорией.

Попытка построения частиц, исходя из теории поля, очевидно, вновь ведет к сингулярностям. И здесь была сделана попытка исправить недостаток путем введения новых переменных поля, переработав и расширив систему уравнений поля. Между тем я, в сотрудничестве с доктором Розеном, недавно открыл, что отмеченное выше простейшее сочетание уравнений гравитационного и электромагнитного полей дает центрально-симметричные решения, которые можно представить свободными от сингулярностей (хорошо известные центрально-симметричные решения Шварцшильда для чисто гравитационного поля и Рейснера для электрического поля с учетом его гравитационного действия). Мы еще вернемся к этому в параграфе 6. Таким образом, представляется возможным получить для материи и ее взаимодействий чисто полевую теорию, избавленную от дополнительных гипотез,— теорию, которая к тому же может быть экспериментально проверена и которая в конце концов подтверждена лишь математическим трудностям, правда, очень серьезным.

§ 5. Теория квант и основы физики

Физики-теоретики нашего поколения ожидают, что для физики будет построена новая теоретическая основа, которая воспользуется фундаментальными представлениями, значительно отличающимися от представлений рассмотренной до сих пор теории поля. Основанием для этого служит признание необходимости использования новых методов исследования при математическом представлении явлений, получивших название квантовых.

Тогда как недостатки классической механики, выявленные теорией относительности, связаны с конечностью скорости света (исключается ее бесконечность), в начале нашего века было обнаружено, что между выводами механики и результатами опыта существуют другие противоречия, которые связаны с конечным значением (исключается равенство нулю) постоянной Планка h . В частности, молекулярная механика требует, чтобы теплоемкость и плотность излучения (монокроматического) твердых тел убывали пропорционально уменьшению их абсолютной температуры; опыт показал, что эти величины убывают быстрее абсолютной температуры. Для теоретического объяснения их поведения необходимо предполагать, что энергия механической системы может принимать не любые, а только определенные дискретные значения, математическое выражение которых всегда зависит от постоянной Планка h . Больше того, эта концепция была существенно важной для теории атома (теория Бора). Для пе-

перехода атомов из одного состояния в другое — с излучением или поглощением и без них — нельзя было указать никакого каузального закона, а только статистический; к такому же заключению пришли и для радиоактивного распада атомов, который тоже тщательно изучался в эту эпоху. Более двух десятилетий физики безуспешно пытались найти единую интерпретацию этого «квантового характера» определенных групп явлений. Такая попытка увенчалась успехом около 10 лет назад путем использования двух совершенно различных теоретических методов. Одним из этих методов мы обязаны Гейзенбергу и Дираку, другим — Луи де Бройлю и Шредингеру. Математическая эквивалентность обоих методов была вскоре доказана Шредингером. Хочу попытаться наметить ход мыслей Луи де Бройля и Шредингера, который ближе к способу мышления физиков, затем изложить некоторые общие соображения.

Вначале вопрос ставится так: каким образом можно определить для системы дискретный ряд значений энергии H_0 , определяемой в смысле классической механики (энергия является заданной функцией координат q_r и соответствующих количеств движения p_r)? Константа Планка h связывает частоту H_0/h со значениями энергии H_0 . Итак, достаточно считать, что система имеет дискретный ряд значений частоты. Это напоминает нам, что в акустике ряд дискретных значений частоты соответствует линейному уравнению в частных производных (если граничные условия заданы), т. е. периодическим синусоидальным решениям. Аналогичным способом Шредингер поставил себе задачу сопоставить заданной функции энергии $\varepsilon(q_r, p_r)$ уравнение в частных производных для некоторой скалярной функции ψ , где q_r и время t являются независимыми переменными. Ему это удалось (для комплексной функции ψ) в том смысле, что теоретические значения энергии H_0 , указанные статистической теорией, действительно вытекают удовлетворительным образом из периодического решения уравнения.

Само собой разумеется, что было невозможно сопоставить определенному решению $\psi(q_r, t)$ уравнения Шредингера определенное движение материальных точек в механическом смысле. Это означает, что функция ψ не определяет, по крайней мере точно, историю q_r как функции времени. Однако, следуя Борну, физическое значение функций ψ можно интерпретировать следующим образом: $\psi\bar{\psi}$ (квадрат абсолютного значения комплексной функции ψ) является плотностью вероятности конфигураций q_r в момент t в рассматриваемой точке конфигурационного пространства. Следовательно, содержание уравнения Шредингера можно характеризовать следующим, легко понимаемым, но не совсем точным образом: оно определяет изменение во времени плотности вероятности статистического ансамбля систем в пространстве конфигураций. Короче говоря, уравнение Шредингера определяет изменение во времени функции ψ от q_r .

Необходимо отметить, что результаты этой теории содержат результаты механики точки как предельные значения, когда длина волны, с которой встречаются при решении задачи Шредингера, повсюду столь мала, что потенциальная энергия меняется практически бесконечно мало при изменениях порядка одной длины волны в конфигурационном пространстве. При этих условиях ясно выделяется следующее: выберем в конфигурационном пространстве область G_0 , большую (по всем размерам) относительно длины волны, но малую по сравнению с практическими размерами конфигурационного пространства. При этих условиях возможно выбрать функцию ψ так, что для начального момента t_0 она исчезает вне области G_0 и ведет себя, в соответствии с уравнением Шредингера, таким же образом, по крайней мере приближенно, и для последующего времени, но относительно области, которая к этому времени t перешла в другую область G . Тогда можно будет с определенной степенью приближения говорить о движении области G в целом и заменить это движение движением точки в конфигурационном пространстве. Это движение совпадает с требуемыми уравнениями классической механики.

Опыты по интерференции корпускулярных лучей дали блестящее подтверждение того, что предполагаемый теорией волновой характер явлений движения действительно соответствует фактам. Кроме того, в теории легко удалось вывести статистические законы перехода системы из одного квантового состояния в другое под действием внешних сил, что, с точки зрения классической механики, казалось чудом. Внешние силы здесь представлены небольшими, зависящими от времени приращениями потенциальной энергии. Тогда как в классической механике такие приращения могут вызвать только соответственно малые изменения в системе, в квантовой механике они же вызывают изменения любой величины, но с соответственно малой вероятностью; это следствие полностью соответствует опыту. Теория даже позволила понять, по крайней мере в основных чертах, законы радиоактивного распада.

Очевидно в прошлом никогда не была развита теория, которая, подобно квантовой, дала бы ключ к интерпретации и расчету группы столь разнообразных явлений. Несмотря на это, я все-таки думаю, что в наших поисках единого фундамента физики эта теория может привести нас к ошибке: она дает, по-моему, неполное представление о реальности, хотя и является единственной, которую можно построить на основе фундаментальных понятий силы и материальных точек (квантовые поправки к классической механике). Неполнота представления является результатом статистической природы (неполноты) законов. Я хочу сейчас обосновать это мнение.

Я спрашиваю сначала — до какой степени функция ψ описывает реальное состояние механической системы? Допустим, что ψ_r — периоди-

ческие решения уравнения Шредингера (расположенные в порядке возрастания значений энергии). Я оставляю пока в стороне вопрос о том, в какой степени отдельные ψ_r дают *полное* описание физических состояний. Вначале система находится в состоянии ψ_1 с наименьшей энергией ε_1 . Затем в течение конечного промежутка времени на систему действует небольшая возмущающая сила. Для некоторого последующего момента из уравнения Шредингера получаем функцию ψ в виде:

$$\psi = \sum C_r \psi_r,$$

где C_r — постоянные (комплексные). Если ψ_r «нормированы», то C_1 почти равен единице, C_2 и т. д. малы по сравнению с единицей. Можно теперь спросить: описывает ли ψ действительное состояние системы? Если ответ положительный, то единственное, что нам остается, — это приписать³ этому состоянию определенную энергию E , а именно: такую, которая не намного превосходит E_1 (во всяком случае $E_1 < E < E_2$). Но такое предположение противоречит опытам Франка и Герца по соударению электронов, если к этому же принято данное Милликемом доказательство дискретной природы электричества. В действительности, эти опыты приводят к заключению, что между двумя квантовыми значениями не существует никаких других значений энергии. Отсюда следует, что наша функция ψ никоим образом не описывает состояние самой системы, а скорее представляет собой статистическое описание, при котором C_r выражают вероятности отдельных значений энергии. Следовательно, кажется очевидным, что данное Борном статистическое истолкование квантовой теории является единственно возможным. Функция ни в коем случае не описывает состояние, свойственное одной единственной системе; она относится скорее к нескольким системам, т. е. к «ансамблю систем», в смысле статистической механики. Если, исключая некоторые особые случаи, функция дает только статистические данные об измеримых величинах, то причина состоит не только в том, что *операция измерения* вносит неизвестные элементы, которые можно уловить лишь статистически, а в самом факте, что функция ψ ни в коем смысле не описывает состояния *одной* отдельной системы.

Такая интерпретация устраняет также и указанный недавно мною и моими двумя сотрудниками парадокс, относящийся к следующей проблеме.

Рассмотрим механическую систему, состоящую из двух отдельных систем A и B , взаимодействующих только в течение ограниченного времени. Пусть задана функция ψ до взаимодействия. Тогда уравнение Шредингера даст функцию ψ после взаимодействия. Определим теперь физическое

³ Потому что, согласно прочно установленному следствию теории относительности, энергия системы (в покое) равна ее массе (как целого). А последняя должна иметь вполне определенное значение.

состояние подсистемы A настолько полно, насколько это допускается измерениями. Тогда квантовая механика позволяет нам определить функции ψ для подсистемы B по сделанным измерениям и функции ψ для всей системы. Это определение, однако, дает результат, который зависит от того, *какие* определяющие величины, характеризующие состояние A , измерялись (например, координаты или количества движения). Поскольку после взаимодействия для B может существовать только одно физическое состояние, которое нельзя себе разумно представить зависящим от отдельных измерений, произведенных над системой A , отделенной от B , можно заключить, что функции ψ нельзя однозначно сопоставить физическое состояние. Это сопоставление нескольких функций ψ одному и тому же физическому состоянию системы B вновь показывает, что функция не может интерпретироваться как описание (полное) физического состояния одной отдельной системы. Здесь также все трудности исчезают, если функция ψ сопоставляется с ансамблем систем ⁴.

Тот факт, что квантовая механика позволяет столь просто получить выводы, касающиеся прерывных переходов (кажущихся) из одного состояния системы в другое, не давая фактически представления об отдельных процессах, связан с другим фактом, а именно: что теория в действительности оперирует не с отдельной системой, а с ансамблем систем. Коэффициенты C_r в нашем первом примере очень мало меняются под действием внешних сил. Такая интерпретация квантовой механики позволяет понять, почему эта теория так легко объясняет способность малых возмущающих сил вызывать изменения любой величины в физическом состоянии системы. Такие возмущающие силы вызывают фактически лишь соответствующие малые изменения статистической плотности ансамбля систем, а следовательно, бесконечно малые изменения функции ψ ; математическое выражение этих изменений представляет гораздо меньше трудностей, чем представляло математическое выражение конечных изменений, претерпеваемых отдельными системами. Что происходит в отдельной системе, остается, правда, при такой манере мышления совершенно невыясненным; статистическая точка зрения совершенно исключает из рассмотрения эти таинственные процессы.

Но теперь я спрашиваю: неужели какой-нибудь физик действительно верит, что нам не удастся узнать что-либо о важных внутренних изменениях в отдельных системах, об их структуре и причинных связях? И это несмотря на возникшие благодаря замечательным открытиям камеры Вильсона и счетчика Гейгера возможности исследования? Думать так логиче-

⁴ Операция измерения A , например, также содержит в себе переход к более ограниченному ансамблю систем. Последний (а значит, и его ψ -функция) зависит от того, с какой точки зрения было произведено ограничение ансамбля систем.

ски допустимо, но это настолько противоречит моему научному инстинкту, что я не могу отказаться от поисков более полной концепции.

К этому мы хотели бы добавить некоторые соображения иного рода, которые также свидетельствуют против идеи, что введенные квантовой механикой методы способны создать основу, пригодную для всей физики. В уравнении Шредингера абсолютное время и потенциальная энергия играют решающую роль, тогда как теорией относительности эти два понятия признаны в принципе недопустимыми. Чтобы избежать этих трудностей, нужно основать теорию на понятии поля и законах полей, а не на силах взаимодействия. Это приводит к распространению статистических методов квантовой механики на поля, т. е. на системы с бесконечным числом степеней свободы. Хотя во всех сделанных до сих пор попытках ограничивались линейными уравнениями, которые, как мы знаем по данным общей теории относительности, недостаточны, встретившиеся при осуществлении уже этих весьма остроумных попыток осложнения ужасающе велики. Они возрастают чрезвычайно, если мы хотим удовлетворить требованиям общей теории относительности, правомочность которой в принципе никем не может оспариваться.

Необходимо отметить, конечно, что введение пространственно-временного континуума может считаться противоестественным, если иметь в виду молекулярную структуру всего происходящего в микромире. Утверждают, что успех метода Гейзенберга может быть приведен к чисто алгебраическому методу описания природы, т. е. исключению из физики непрерывных функций. Но тогда нужно будет в принципе отказаться от пространственно-временного континуума. Можно думать, что человеческая изобретательность в конце концов найдет методы, которые позволят следовать этому пути. Но в настоящее время такая программа смахивает на попытку дышать в безвоздушном пространстве.

Нет сомнения, что в квантовой механике имеется значительный элемент истины и что она станет пробным камнем для любой будущей теоретической основы, из которой она должна будет быть выведена как частный случай, подобно тому, как электростатика выводится из уравнений Максвелла для электромагнитного поля или термодинамика из классической механики. Однако я не думаю, что квантовая механика является *исходной точкой* поисков этой основы, точно так же, как нельзя, исходя из термодинамики (или, соответственно, из статистической механики), прийти к основам механики.

Учитывая такое положение, кажется вполне оправданным серьезное рассмотрение вопроса о том, нельзя ли *каким-нибудь* образом привести в соответствие основу физики поля с данными квантовой теории? Не является ли она единственной основой, которая, в соответствии с современными возможностями математики, может быть адаптирована к требова-

ниям общей теории относительности? Господствующая среди современных физиков вера в совершенную безнадежность таких попыток коренится в необоснованном мнении, что в первом приближении такая теория должна привести к уравнениям классической механики для движения частиц или по крайней мере к обыкновенным дифференциальным уравнениям. Фактически до настоящего времени нам ни разу не удалось теоретически представить частицы с помощью полей, свободных от сингулярностей, и мы не можем ничего а priori сказать по поводу поведения таких существей. Однако одно достоверно: если теории поля удастся представить частицы без сингулярностей, то поведение этих частиц во времени будет однозначно определяться дифференциальными уравнениями поля.

§ 6. Теория относительности и частицы

Я хочу теперь показать, что, согласно общей теории относительности, существуют свободные от сингулярностей решения уравнений поля, причем эти решения можно интерпретировать как представляющие частицы. Я ограничиваюсь здесь случаем нейтральных частиц, так как совместно с доктором Розеном⁵ в недавней работе подробно рассматривал этот вопрос, а также потому, что в этом случае можно полностью выявить суть проблемы.

Гравитационное поле полностью описывается тензором $g_{\mu\nu}$. В трехиндексном символе $\Gamma_{\mu\nu\sigma}$ также появляются контравариантные тензоры $g^{\mu\nu}$, определяемые как частные от деления миноров $g_{\mu\nu}$ на детерминант g ($= |g_{\alpha\beta}|$). Для того чтобы R_{ik} были определенными и конечными, недостаточно задать систему координат в окрестности любой части континуума, так, чтобы $g_{\mu\nu}$ и их первые производные были бы непрерывными и дифференцируемыми; необходимо также, чтобы детерминант нигде не равнялся нулю. Это последнее ограничение, однако, исключается, если дифференциальные уравнения $R_{ik} = 0$ заменить на $g^2 R_{ik} = 0$, левые части которых являются целыми рациональными функциями g_{ik} и их производных.

Эти уравнения имеют центрально-симметричные решения, указанные Шварцшильдом,

$$ds^2 = \frac{1}{1 - \frac{2m}{r}} dr^2 - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) + \left(1 - \frac{2m}{r}\right) dt^2.$$

Это решение имеет сингулярность при $r = 2m$, так как коэффициент при dr^2 (т. е. $g_{1,1}$) становится бесконечным на этой гиперповерхности. Если

⁵ Ср. статью 113 (том II). — Прим. ред.

теперь заменить переменную r на ρ по формуле

$$\rho^2 = r - 2m,$$

получим

$$ds^2 = -4(2m + \rho^2) d\rho^2 - (2m + \rho^2)^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) + \frac{\rho^2}{2m + \rho^2} dt^2.$$

Это регулярное решение при всех значениях ρ . Правда, исчезновение коэффициента при dt (т. е. g_{44}) при $\rho = 0$ приводит к равенству нулю детерминанта g при этом значении; но при принятом методе записи уравнений поля это не приводит к сингулярности.

Если ρ меняется от $-\infty$ до $+\infty$, r меняется от $+\infty$ до $r = 2m$ и обратно до $+\infty$, тогда как значениям $r < 2m$ не соответствуют никакие вещественные значения ρ . Отсюда следует, что решение Шварцшильда становится регулярным, если представить физическое пространство состоящим из двух «оболочек», граничащих вдоль гиперповерхности $\rho = 0$, т. е. $r = 2m$, тогда как на самой гиперповерхности детерминант равен нулю. Будем называть такую связь между двумя оболочками (тождественными) «мостом». Следовательно, существование такого моста между двумя оболочками в конечной области соответствует существованию нейтральной материальной частицы, описанной способом, свободным от сингулярностей.

Решение проблемы движения нейтральных частиц, очевидно, сводится к нахождению решений тех уравнений гравитации (написанных без знаменателей), которые содержат несколько мостов.

Изложенная выше концепция соответствует априори атомистической структуре материи, поскольку мосты по своей природе дискретны. Кроме того, мы видим, что константа массы m нейтральных частиц должна быть существенно положительной, так как отрицательным значениям m не может соответствовать какое-либо свободное от сингулярностей решение Шварцшильда. Только исследование проблемы многих мостов может показать, дает ли этот теоретический метод объяснение эмпирически установленному равенству масс частиц в природе и учитывает ли он все факты, столь превосходно охваченные квантовой механикой.

Аналогичным образом можно показать, что комбинированные уравнения гравитации и электричества (при надлежащем выборе знака электрических членов в уравнениях гравитации) дают свободное от сингулярностей мостовое представление электрической частицы. Наиболее простое решение этого рода относится к электрической частице, не имеющей гравитационной массы.

До тех пор, пока не преодолены значительные математические трудности проблемы многих мостов, нельзя ничего утверждать о пользе теории с точки зрения физика. Тем не менее она несомненно является первой

попыткой последовательной разработки полевой теории, дающей возможность объяснить свойства вещества. В пользу этой попытки говорит и то обстоятельство, что она основана на релятивистских уравнениях поля, наиболее простых из известных в настоящее время.

Резюме

Физика представляет собой развивающуюся логическую систему мышления, основы которой можно получить не выделением их какими-либо индуктивными методами из опыта, а лишь свободным вымыслом. Обоснование (истинность) системы основано на доказательстве применимости вытекающих из нее теорем в области чувственного опыта, причем соотношения между последними и первыми можно понять лишь интуитивно. Эволюция происходит в направлении все увеличивающейся простоты логических основ. Больше того, чтобы приблизиться к этой цели, мы должны решиться признать, что логическая основа все больше и больше удаляется от данных опыта, и мысленный путь от основ к вытекающим из них теоремам, коррелирующим с чувственными опытами, становится все более трудным и длинным.

Наша цель состояла в том, чтобы возможно короче наметить картину развития основных понятий в их связи с опытными фактами и усилиями достичь внутреннего совершенства системы. Было также необходимо выяснить с помощью этих соображений современное состояние вещей так, как оно мне представляется (схематическое историческое изложение неизбежно носит некоторую личную окраску).

Я стремился показать, каким образом связаны между собой и с природой эксперимента понятия телесного объекта, пространства, субъективного и объективного времени. В классической механике понятия пространства и времени независимы друг от друга. Понятие телесного объекта заменялось в самой основе понятием материальной точки, благодаря чему механика стала существенно атомистической. Свет и электричество порождали непреодолимые трудности, когда пытались сделать механику основой для всей физики. Это приводит к теории электрического поля и к попытке основать всю физику на понятии поля (после попытки компромисса с классической механикой). Эта попытка ведет к теории относительности (превращение понятий пространства и времени в континуум с метрической структурой).

Я старался, далее, доказать, почему, по моему мнению, квантовая теория не выглядит способной дать фундамент, полезный для физики. Попытки рассматривать теоретическое квантовое описание как *полное* описание отдельных физических систем или отдельных событий приводят к противоречиям.

С другой стороны, теория поля до сих пор не в состоянии дать объяснение молекулярной структуры материи и квантовых явлений. Тем не менее было показано, что убеждение в неспособности теории поля разрешить своими методами эти проблемы основывается на некотором предубеждении.

Немецкий текст помещен также в «Zs. für freie deutsche Forschung», 1938, Т. 1, 5—19; английский перевод статьи напечатан также в сб. «Ideas and Opinions»; русский перевод (без § 1) — в сб. «Физика и реальность».

В статье упомянуты разные варианты единой теории поля: работы Калуцы, описанные самим Эйнштейном (т. II, статьи 83, 84), работы А. Клейна (Zs. Physik, 1926, 37, 12, 285) и примечание Эйнштейна в конце статьи 84 (т. II), статьи Д. Дантинга (Akad. Wettensch. Amsterdam, 1934, 37, 521, 526, 643, 825), статья В. Паули о проеكتивном пространстве (см. Ann. d. Phys., 1933, 18, 305), статьи Эйнштейна с Розеном, помещенные во II томе (статьи 113, 114). Как известно, все эти попытки не увенчались успехом.

На стр. 208 Эйнштейн упоминает об «опыте с ведром». Речь идет о форме поверхности воды в сосуде, вращающемся вокруг своей оси. (Н ь ю т о н. Начала. СПб., 1914, стр. 33.)

КОММЕНТАРИЙ ПО ПОВОДУ ОБОБЩЕНИЯ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ПРОФЕССОРОМ ПЕЙДЖЕМ И КРИТИКИ ДОКТОРА ЗИЛЬБЕРШТЕЙНА *

Вы спрашиваете мое мнение о двух статьях, опубликованных в номере «The Physical Review» от 1 февраля ¹.

В первой из этих статей, написанной Людвиком Зильберштейном, речь идет о решении уравнений гравитационного поля с двумя центрами ². Автор считает, что результат его несложных выкладок опровергает общую теорию относительности, поскольку он усматривает в этом результате элементарное противоречие с общеизвестными фактами.

Я уже сообщил Зильберштейну, что его результат основан на ошибке, которую он, к сожалению, до сих пор не признал.

Вторая статья, «Новая теория относительности», принадлежит Лею Пейджу и представляет собой попытку заложить основы для обобщения теории относительности ³. Основная ее идея еще не настолько развита, чтобы можно было бы сделать определенные выводы о возможных экспериментальных проверках. Поэтому нельзя сказать, правильна ли эта теория или нет.

С такой критической оценкой придется подождать до того времени, когда можно будет увидеть законченную физическую теорию.

Я хотел бы воспользоваться предоставившимся мне случаем и сделать несколько замечаний по поводу публикаций научных новостей в газетах. Разумеется, широкой публике следует сообщать о тех научных понятиях, в которых мы до какой-то степени уже уверились. Я считаю вредным, когда в газетах появляются загадочные и туманные сообщения о проблемах, еще не прояснившихся в достаточной мере.

Такие публикации не способствуют духовному обогащению интеллигентного читателя, они могут лишь подорвать у него доверие к честным научным исследованиям.

* *Comment on Extension of Relativity Theory by Prof. Page and on Dr. on Silberstein's Criticism by Theory.* New York Times, 8 February 1936.

¹ Ср. т. II, статья 113.— *Прим. ред.*

² L. Silberstein. Phys. Rev., 1936, 49, 268. Замечания Эйнштейна и Розена см. т. II, статья 114.— *Прим. ред.*

³ L. Page. Phys. Rev., 1936, 49, 254.— *Прим. ред.*

РАССУЖДЕНИЯ ОБ ОСНОВАХ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ*

Наука — это попытка привести хаотическое многообразие нашего чувственного опыта в соответствие с некоторой единой системой мышления. В этой системе отдельные опыты сопоставляются с теоретической структурой таким образом, чтобы вытекающее отсюда соответствие было однозначным и убедительным.

Чувственные восприятия нам даются, но теория, призванная их интерпретировать, создается человеком. Она является результатом исключительно трудоемкого процесса приспособления: гипотетического, никогда окончательно не заканчиваемого, постоянно подверженного спорам и сомнениям.

Способ образования понятий в науке отличается от применяемого в повседневной жизни не своими принципами, а лишь более точным определением понятий и следствий, более тщательным и систематическим отбором экспериментального материала и большей экономией мысли.

Под этим последним мы понимаем стремление свести все понятия и соотношения к возможно меньшему числу логически независимых друг от друга основных аксиом и понятий.

То, что мы называем физикой, охватывает группу естественных наук, основывающих свои понятия на измерениях, причем представления и утверждения физики могут быть сформулированы математически. Следовательно, ее областью является та часть общей суммы нашего знания, которую можно выразить в математических терминах. По мере развития науки область физики настолько расширилась, что кажется ограниченной лишь лишь возможностями самого метода.

Большая часть физических исследований посвящена развитию различных отраслей физики; предметом каждой отрасли является теоретическое осмысление большего или меньшего числа областей опыта; в каждой из них законы и понятия остаются по возможности тесно связанными с опытом. Именно этот раздел науки, со своей постоянно усиливающейся

* *Considerations concerning the Fundaments of Theoretical Physics.* Science, 1940, 91, 487—492.

специализацией, за последние века революционизировал практическую жизнь и создал, наконец, возможность освобождения человека от бремени физического труда.

С другой стороны, с самого начала проявлялось стремление найти для унификации всех отраслей науки теоретическую основу, образованную минимальным числом понятий и фундаментальных соотношений, из которой логическим путем можно было бы вывести все понятия и соотношения отдельных дисциплин.

Вот что мы понимаем под отысканием основ физики в целом. Глубокое убеждение в достижимости этой цели является главным источником страстной преданности, которая всегда воодушевляет исследователя. Последующие замечания посвящены основам физики, понимаемым именно в этом смысле.

Из сказанного становится ясно, что слово «основа» в этой связи не означает чего-то во всех отношениях тождественного фундаменту здания. Правда, с логической точки зрения различные частные законы покоятся на этой основе. Но тогда как фундамент здания может остаться нетронутым даже если само здание серьезно повреждено сильным штормом или весенним разливом, в науке дело обстоит совершенно иначе. Новые опыты или новое открытие представляют большую опасность для логического основания, чем для тех ветвей, которые теснее связаны с опытом. Большое значение основания определяется именно его связью с отдельными частями, но именно здесь таится и опасность в лице каждого нового факта. Если мы отдаем себе в этом отчет, то становится неясным, почему так называемые революционные эпохи в физике не меняли ее основ чаще и решительнее, чем это было на самом деле.

Первая попытка установления единой теоретической основы, представленная в трудах Ньютона. В его системе все сводится к следующим понятиям: (1) материальные точки с неизменяющейся массой; (2) действие на расстоянии между двумя материальными точками; (3) закон движения материальной точки. Эта система не была, строго говоря, всеобъемлющей основой, поскольку закон действия на расстоянии был сформулирован явно только для гравитации, тогда как для всех остальных дальностей действовал бы установленный априори лишь равенство действия и противодействия. Кроме того, Ньютон полностью отдавал себе отчет, что время и пространство являются существенными элементами, эффективными физическими факторами, хотя в его системе это лишь подразумевалось.

Построенный Ньютоном фундамент оказался исключительно плодотворным и до конца XIX в. считался незыблемым. Он не только позволял объяснить до малейших деталей движение небесных тел, но и создал механику дискретных и непрерывных масс, дал простое объяснение принципа сохранения энергии и блестящую законченную теорию тепла.

Объяснения электродинамических явлений были несколько искусственными; наименее убедительной с самого начала была его теория света.

Не удивительно, что Ньютон не хотел ничего слышать о волновой теории света; такая теория была наиболее далекой от его общетеоретических воззрений. Предположение, что пространство заполнено состоящей из материальных точек средой, единственным механическим свойством которой является способность передавать свет, должно было ему казаться искусственным. Наиболее веские аргументы в пользу волновой природы света, как-то: конечность скорости его распространения, интерференция, дифракция, поляризация — были либо вовсе неизвестны, либо не систематизированы. Поэтому было естественно, что он остался на точке зрения корпускулярной теории света.

В течение XIX в. дискуссия завершилась победой волновой теории. Тем не менее по поводу возможности механистического обоснования физики не выражалось никакого сомнения, в первую очередь потому, что никто не знал, где найти обоснование другого рода. Только постепенно, под неотразимым давлением фактов, развилась новая основа физики — физика поля.

Еще со времен Ньютона теорию дальнего действия всегда считали искусственной. Прилагались усилия объяснить гравитацию кинетически, т. е. на основе сил соударения между гипотетическими материальными частицами. Но эти попытки были поверхностными и ничего не дали. Была также выявлена странная роль, которую играло пространство (или инерциальная система) в основании механики; особенно четко ее критиковал Эрнст Мах.

Великая перемена была осуществлена Фарадеем, Максвеллом и Герцем, правда, несколько неосознанно и против их воли. Всю свою жизнь все трое считали себя сторонниками механической теории. Герц нашел простейшую форму уравнений электромагнитного поля и заявил, что любая теория, ведущая к этим уравнениям, совпадает с теорией Максвелла. Но к концу своей короткой жизни он написал работу, где представил в качестве основы физики механическую теорию, освобожденную от понятия силы.

Нам, которые впитали идеи Фарадея, так сказать, с молоком матери, трудно оценить их величие и смелость. Благодаря своему безошибочному инстинкту Фарадей хорошо понимал, насколько искусственны все попытки сведения электромагнитных явлений к взаимодействию на расстоянии электрических частиц. Каким образом каждое зерно в металлических опилках, разбросанных на листке бумаги, могло знать об электрических частицах, циркулирующих в близлежащем проводнике? Казалось, что все эти электрические частицы, взятые вместе, создают в окружающем пространстве определенное состояние, которое, в свою очередь, производит

определенное упорядочение в опилках. Эти состояния пространства, сегодня называемые полями, могли, по мнению Фарадея, объяснить таинственные электромагнитные взаимодействия, как только удалось бы понять их геометрическую структуру и взаимное воздействие. Он представлял себе эти поля как состояния механического натяжения среды, заполняющей пространство, подобно состояниям натяжения в упруго-растянутом теле. В то время это был единственный способ представления состояний, казавшихся непрерывно распределенными в пространстве. Особый характер механической интерпретации этих полей оставался на втором плане — своего рода успокоение научной совести перед лицом механической традиции времен Фарадея. С помощью этих концепций поля Фарадею удалось дать качественное представление всего комплекса электромагнитных эффектов, открытых им и его предшественниками. Формулировка точных пространственно-временных законов этих полей была делом Максвелла. Вообразите себе охватившие его чувства, когда полученные им дифференциальные уравнения показали, что электромагнитные поля распространяются в виде поляризованных волн со скоростью света. Мало кому из людей в мире довелось испытать такое! В этот радостный момент он, безусловно, не подозревал, что таинственная природа света, казавшаяся полностью выясненной, будет приводить в замешательство еще и последующие поколения. Между тем физикам понадобилось несколько десятилетий, чтобы понять все значение открытия Максвелла; настолько был вызванный им гением скачок вперед по сравнению с концепциями его современников. Сопротивление новой теории было сломлено только после того, как Герц экспериментально доказал существование максвелловских электромагнитных волн.

Но если электромагнитное поле может существовать как волна, независимо от материального источника, то электростатическое взаимодействие уже не может быть объяснено действием на расстоянии. А то, что было верно для электрического действия, не могло не быть верным и для гравитации. Поэтому ньютоновское дальное действие уступило место полям, распространяющимся с конечной скоростью.

Из всего ньютоновского фундамента теперь оставались только материальные точки и законы их движения. Но Дж. Дж. Томсон показал, что, согласно теории Максвелла, находящееся в движении электрически заряженное тело обладает магнитным полем, энергия которого проявляется точно так же, как если бы возросла кинетическая энергия тела. Если, таким образом, часть кинетической энергии представляет собой энергию поля, то нельзя было бы утверждать это о всей кинетической энергии? Быть может, основное свойство материи, ее инерция, объясняется в рамках теории поля? Этот вопрос привел к задаче толкования материи в терминах теории поля; решение ее должно объяснить атомистическую структуру

материи. Но вскоре выяснилось, что теория Максвелла не в состоянии выполнить эту программу. С тех пор многие ученые с большим рвением пытались дополнить теорию поля некоторым обобщением, которое содержало бы теорию материи; но до сих пор эти попытки не увенчались успехом. Для построения теории недостаточно иметь ясное понятие о цели. Необходимо также иметь определенную формальную точку зрения, которая в достаточной степени ограничивала бы бесконечное разнообразие возможностей. Пока она не найдена; следовательно, теории поля не удалось дать основу для всей физики.

Несколько десятилетий большинство ученых думало, что для теории Максвелла можно найти некоторую механическую опору. Но малопродуктивные результаты их усилий заставили постепенно принять новую концепцию поля в качестве несводимых основных принципов; другими словами, физики примирились с отказом от идеи механического обоснования.

Таким образом, физики стали придерживаться программы теории поля. Но она не могла считаться фундаментальной, потому что никто не мог сказать, сможет ли последовательная теория поля когда-нибудь объяснить, с одной стороны, гравитацию, а, с другой — элементарные составляющие материи. При таком положении вещей было необходимо представлять материальные частицы как подчиняющиеся законам движения Ньютона. Именно так поступил Лоренц, создавая свою электронную теорию и теорию электромагнитных явлений в движущихся телах.

В таком состоянии находился вопрос об основных понятиях в начале нашего века. Был достигнут колоссальный прогресс в теоретическом понимании целых групп новых явлений, но установление единой основы для всей физики казалось делом далекого будущего. И это положение вещей усугубилось последующим развитием. В нашем веке развитие определяется двумя теоретическими системами, существенно независимыми друг от друга: теорией относительности и квантовой теорией. Эти две теории прямо не противоречат друг другу, но они кажутся малоприспособленными для объединения в единую теорию. Мы должны коротко обсудить основную идею этих двух систем.

Теория относительности зародилась из попыток усовершенствовать, исходя из экономии мысли, существовавшее в начале этого столетия обоснование физики. Так называемая специальная теория относительности основывается на том факте, что уравнения Максвелла (а следовательно, и закон распространения света в пустоте) инвариантны по отношению к преобразованиям Лоренца. К этому формальному свойству уравнений Максвелла добавляется достоверное знание нами того эмпирического факта, что законы физики одинаковы во всех инерциальных системах. Отсюда вытекает, что переход от одной инерциальной системы к другой

должен описываться преобразованиями Лоренца, применяемыми к пространственно-временным координатам. Следовательно, содержание специальной теории относительности может быть резюмировано одним предположением: все законы природы должны быть так определены, чтобы они были ковариантными относительно преобразований Лоренца. Отсюда вытекает, что одновременность двух пространственно-удаленных событий не является инвариантным понятием, а размеры твердых тел и ход часов зависят от их состояния движения. Другим следствием является видоизменение ньютоновского закона движения в случае, когда скорость данного тела не мала по сравнению со скоростью света. Между прочим, отсюда вытекал принцип эквивалентности массы и энергии, а законы сохранения массы и энергии объединились в один-единственный закон. Но раз было доказано, что одновременность относительна и зависит от системы отсчета, исчезла всякая возможность сохранить в основах физики дальное действие, ибо это понятие предполагало абсолютный характер одновременности (должна существовать возможность констатации положения двух взаимодействующих материальных точек «в один и тот же момент»).

Общая теория относительности обязана своим происхождением попытке объяснить известный еще со времен Галилея и Ньютона, но не поддающийся никакой теоретической интерпретации факт: два совершенно отличных друг от друга свойства, инертность и тяжесть, измеряются одной и той же константой — массой. Из этого соответствия следует, что экспериментально невозможно установить, движется ли заданная система координат ускоренно или она движется равномерно и прямолинейно, а наблюдаемые эффекты обусловлены полем тяготения (в этом и состоит принцип эквивалентности общей теории относительности). Введение гравитации развенчало понятие об инерциальной системе. Здесь уместно заметить, что инерциальная система является слабым местом механики Галилея — Ньютона, ибо физическому пространству приписывалось некоторое таинственное свойство, обуславливающее вид системы координат, для которой справедливы закон инерции и ньютоновский закон движения.

Этих трудностей можно избежать с помощью следующего постулата: законы природы должны формулироваться так, чтобы их форма оставалась идентичной для систем координат при любом состоянии их движения. В этом состоит задача общей теории относительности. С другой стороны, из специальной теории относительности мы вывели существование в пространственно-временном континууме римановой метрики, которая, в соответствии с принципом эквивалентности, описывает и гравитационное поле, и метрические свойства пространства. Предполагая, что уравнения гравитационного поля являются дифференциальными уравнениями второго порядка, мы четко определяем закон поля.

Наряду с этим теория освободила физику поля от неспособности (ею она страдала наравне с ньютоновской механикой) приписывать пространству те независимые физические свойства, которые раньше маскировались применением инерциальной системы. Однако нельзя претендовать на то, что те части общей теории относительности, которые сегодня уже можно считать завершенными, представляют собой полный и удовлетворительный фундамент физики. Во-первых, полное поле кажется состоящим из двух логически несвязанных частей: гравитации и электромагнетизма. Во-вторых, эта теория, подобно прежним теориям поля, до сих пор не дала объяснения атомистической структуре материи. Эта неудача связана очевидно с тем, что теория до сих пор ничем не способствовала пониманию квантовых явлений. Чтобы понять эти явления, физики вынуждены принять совершенно новые методы, основную характеристику которых мы сейчас рассмотрим.

В 1900 г. в ходе чисто теоретического исследования Планк сделал замечательное открытие: закон теплового излучения тел не может быть выведен только из законов электродинамики Максвелла. Чтобы прийти к результатам, согласующимся с опытами, о которых идет речь, излучение заданной частоты должно трактоваться как состоящее из отдельных атомов (или квантов) энергии $h\nu$, где h — универсальная постоянная Планка, ν — частота. В последующие годы было доказано, что свет всегда излучается и поглощается такими квантами энергии. В частности, Нильс Бор сумел понять строение атома, предполагая, что атомы могут обладать только дискретными значениями энергии и что скачкообразные переходы между этими значениями связаны с излучением и поглощением такого кванта энергии. Это пролило некоторый свет на то обстоятельство, что в газообразном состоянии элементы и их соединения излучают и поглощают свет только совершенно определенных частот. Все это было абсолютно необъяснимо в рамках существовавших теорий. Стало ясно, что в атомных явлениях, по крайней мере, характер всего происходящего определяется дискретными состояниями и скачкообразными, по-видимому, переходами между ними, причем постоянная Планка играет решающую роль.

Следующий шаг был сделан Луи де Бройлем. Он поставил вопрос о возможности понимания дискретных состояний с помощью привычных понятий и угадал аналогию со стоячими волнами, которые встречаются, например, в случае собственных частот органичных труб и струн в акустике. Конечно, требуемые здесь волновые процессы не были известны, но их можно было построить, а их математические законы можно было формулировать, используя постоянную Планка h . Де Бройль представил себе, что с вращающимся вокруг атомного ядра электроном связан пучок таких гипотетических волн, и в определенной степени объяснил дискретный

характер «разрешенных» боровских орбит стационарным характером соответствующих волн.

Однако в механике движение материальных точек определяется силами или полями сил, действующих на эти точки. Следовало ожидать, что эти поля сил будут аналогичным образом оказывать влияние на волновые поля де Бройля. Эрвин Шредингер показал, как можно учесть это влияние, предложив искусный метод новой интерпретации некоторых формул классической механики. Ему удалось также настолько расширить волновую механику, что она могла применяться к любой механической системе, состоящей из произвольного числа материальных точек, т. е. обладающей произвольным числом степеней свободы. Это было возможно потому, что механическая система, состоящая из n материальных точек, в значительной мере математически эквивалентна одной материальной точке, движущейся в пространстве $3n$ измерений.

На основе этой теории удалось удивительно хорошо представить огромное разнообразие фактов, которые иначе казались совершенно непостижимыми. Но странным образом Шредингера постигла неудача: оказалось невозможным ассоциировать с этими волнами определенные движения материальных точек, — а ведь именно в этом состояла первоначальная цель всего построения.

Трудность казалась непреодолимой, пока ее не победил Борн способом столь же простым, сколь и неожиданным. Волновые поля де Бройля — Шредингера не должны были трактоваться как математическое описание реального протекания события во времени и в пространстве, хотя они действительно имеют отношение к такому событию. Они являются скорее математическим описанием того, что мы можем в действительности знать о системе. Они служат только для представления статистических высказываний и предсказаний относительно результатов всех измерений, которые можно произвести над системой.

Проиллюстрируем эти общие черты квантовой механики простым примером: рассмотрим материальную точку, удерживаемую в ограниченной области G силами конечной интенсивности. Если кинетическая энергия материальной точки ниже определенного предела, то, согласно классической механике, она никогда не сможет покинуть область G . Но, согласно квантовой механике, через определенный период, который нельзя непосредственно предсказать, материальная точка способна покинуть область G в непредвиденном направлении и проникнуть в окружающее пространство. Этот случай представляет, по Гамову, упрощенную модель радиоактивного распада.

Квантовая механика следующим образом трактует этот случай: в момент t_0 мы имеем систему шредингеровских волн, полностью заключенных внутри G . Но, начиная с момента времени t_0 , волны покидают об-

ласть G по всем направлениям так, что амплитуда выходящих волн мала по сравнению с начальной амплитудой системы волн внутри G . Чем дальше распространяются эти волны, тем сильнее уменьшается амплитуда волн внутри G , а в соответствии с этим и амплитуда последующих волн, покидающих G . Только через бесконечно большой промежуток времени запас волн внутри G исчерпается, тогда как внешняя волна охватит все большее пространство.

Но какое отношение имеет этот волновой процесс к вопросу, который нас интересовал прежде всего, — к частице, первоначально заключенной в G ? Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны вообразить себе некоторое устройство, позволяющее производить измерения над частицей. Вообразим себе, например, где-то в окружающем пространстве такого рода экран, что, входя с ним в контакт, частица останавливается. По интенсивности волн, падающих на экран в некоторой точке, мы можем делать заключения о вероятности попадания частицы на экран в этой точке в данный момент времени. Как только частица ударилась в какую-нибудь определенную точку экрана, все волновое поле теряет весь свой смысл; его единственным назначением было сделать вероятностные предсказания относительно места и времени встречи частицы с экраном (или, например, относительно величины количества движения частицы в момент этой встречи).

Все остальные случаи аналогичны. Целью теории является определение вероятности результатов измерений в системе в заданный момент времени. С другой стороны, она не пытается дать математическое представление того, что действительно имеет место, или того, что происходит в пространстве и во времени. В этом пункте современная квантовая теория радикально отличается от всех предшествующих физических теорий как механических, так и полевых. Вместо того, чтобы дать модель для изображения реальных пространственно-временных событий, она дает распределения вероятности для возможных измерений как функций времени.

Надо признать, что новая теоретическая концепция обязана своим происхождением не взлету фантазии, а непреодолимой силе опытных фактов. Все попытки представить частицу и волновые свойства, проявляющиеся в явлениях, связанных со светом и веществом, непосредственно пространственно-временной моделью, до сих пор кончались неудачно. Как убедительно показал Гейзенберг, всякое утверждение о строго детерминистской структуре природы с эмпирической точки зрения окончательно исключается из-за атомистического строения приборов, применяемых в наших экспериментах. По-видимому, никакое будущее познание не сможет заставить физиков отказаться от нашего современного статистического основания физики в пользу детерминистского основания,

которое имело бы дело непосредственно с физической реальностью. Логически проблема дает, по-видимому, две возможности, из которых мы, в принципе, можем избрать одну. В конце концов выбор будет определен тем, какое описание позволит формулировать логически простейшие основы. В настоящее время мы не владем детерминистской теорией, которая позволяла бы описывать непосредственно сами события в согласии с реальными фактами и их связь.

Пока мы должны признать, что не имеем для физики общей теоретической основы, которую можно было бы считать ее логическим фундаментом. Теория поля до сих пор терпела неудачи в молекулярной области. Всеми признано, что единственный принцип, который мог бы служить основой для квантовой теории, может быть получен переводом теории поля на схему квантовой статистики. Но никто не отважится сказать, когда это действительно будет сделано удовлетворительным образом.

Некоторые физики, в том числе и я сам, не могут поверить, что мы раз и навсегда должны отказаться от идеи прямого изображения физической реальности в пространстве и времени или что мы должны согласиться с мнением, будто явления в природе подобны азартным играм. Каждому дозволено выбрать направление приложения своих усилий, и каждый человек может найти утешение в прекрасном изречении Лессинга, что искать истину благороднее, чем обладать ею.

Статья опубликована в сб. «Out of My later Years» (1950) и «Ideas and Opinions» под заголовком «Основы теоретической физики». Русский перевод был напечатан в журнале «Под знаменем марксизма» (1940, № 12) под заголовком «Соображения к обоснованию теоретической физики», а также в сб. «Физика и реальность» под заголовком «Основы теоретической физики».

СВОБОДА И НАУКА *

I

На первый взгляд свобода и наука не связаны между собой слишком тесно. Во всяком случае, свобода может отлично существовать и без науки, т. е. существовать в той мере, в какой может жить без науки человек с его врожденным стремлением к познанию. Но что значит наука без свободы?

Человеку науки прежде всего необходима духовная свобода, ибо он должен пытаться сбросить с себя оковы предрассудков и, какой бы авторитетной ни была установившаяся концепция, постоянно убеждаться в том, что она остается верной и после появления новых фактов. Поэтому интеллектуальная независимость для ученого-исследователя является самой насущной необходимостью. Но и политическая свобода также чрезвычайно важна для его работы. Он должен иметь возможность высказывать то, что считает правильным, и это не должно сказываться на его материальном положении или ставить под угрозу его жизнь. Все это совершенно ясно, если речь идет об исторических исследованиях, но является также и жизненно важной предпосылкой всякой научной деятельности, как бы далека она ни была от политики. Если некоторые книги запрещены и становятся недоступными потому, что политическая ориентация или национальность их автора негодна правительству, как это часто бывает в наши дни, исследователь не сможет найти достаточно прочное основание, на которое он мог бы опереться. А как может стоять здание, если у него нет прочного фундамента?

Ясно, что абсолютная свобода представляет собой идеал, который нельзя реализовать в нашей общественной и политической жизни. Но все люди доброй воли должны стремиться к тому, чтобы способствовать усилиям человечества, направленным на все более полное осуществление этого идеала.

* *Freedom and Science*. В сб. «Freedom: its Meaning». Ed. Ruth N. Anshen. New York, 1940.

II

Я знаю, насколько безнадежно затевать дискуссию о справедливости принципиальных суждений. Например, если кто-нибудь считает достойной целью полное уничтожение человеческой расы на земле, то подобную точку зрения рациональными доводами опровергнуть нельзя. Но если условиться каким-нибудь образом о целях и ценностях, то можно рационально судить о тех средствах, которыми можно воспользоваться для достижения этих целей. Укажем поэтому две цели, с которыми, по-видимому, согласятся почти все, кто прочтет эти строки.

1. Блага, служащие для поддержания жизни и здоровья всех людей, должны производиться с наименьшей затратой труда.

2. Удовлетворение физических потребностей, бесспорно, является необходимой предпосылкой удовлетворительного существования, но само по себе недостаточно. Для того, чтобы быть удовлетворенным, человек должен еще иметь возможность развивать свои интеллектуальные и художественные способности в соответствии с личными склонностями и способностями.

Первая из этих целей требует дальнейшего развития всех знаний о законах природы и общественных процессах, т. е. дальнейшего развития всех научных исследований, ибо научное исследование представляет собой естественное целое, части которого взаимно поддерживают друг друга. Разумеется, никто не может заранее сказать, как осуществится эта взаимная поддержка; однако прогресс науки предполагает возможность неограниченного обмена всеми результатами и мнениями, свободу мнений и обучения во всех областях научного исследования. Под свободой я понимаю такие общественные условия, когда высказывание мнений и убеждений по общим и частным проблемам познания не влечет за собой опасности или серьезного ущерба для того, кто их высказывает. Свобода общения необходима для развития и расширения научного познания.

Это имеет большое практическое значение. Прежде всего ее необходимо гарантировать законом. Но одни только законы не могут обеспечить свободу высказываний. Чтобы каждый человек мог безнаказанно высказывать свои убеждения, в обществе должен быть силен дух терпимости. Подобного идеала внешней свободы никогда не удается достичь полностью, но к нему следует неустанно стремиться, если желать прогресса научной мысли, философского и творческого мышления в целом.

Если необходимо обеспечить достижение второй цели, т. е. предоставить всем возможность интеллектуального развития, то необходима внешняя свобода другого рода. Человек не должен столько работать для удовлетворения своих жизненных потребностей, чтобы у него не оставалось ни времени, ни сил для интересующей его деятельности. Без

такой внешней свободы второго рода свобода высказываний для него бесполезна. Если бы проблема разумного распределения труда была решена, то возможность свободы этого рода была обеспечена прогрессом техники.

Развитие науки и творческая деятельность разума в целом требуют еще одной разновидности свободы, которую можно было бы охарактеризовать как внутреннюю свободу. Это — свобода разума, заключающаяся в независимости мышления от ограничений, налагаемых авторитетами и социальными предрассудками, а также от шаблонных рассуждений и привычек вообще. Подобная внутренняя свобода — редкий дар природы и весьма желанная цель для каждого индивидуума. И все же общество может во многом способствовать развитию внутренней свободы, хотя бы тем, что не будет вмешиваться в ее развитие. Школы, например, могут вмешиваться в развитие внутренней свободы под влиянием властей и взваливать на молодых людей излишнюю духовную нагрузку, но точно так же они могут способствовать развитию внутренней свободы, поощряя независимость мышления. Возможность духовного развития и совершенствования, а следовательно, и возможность улучшения внутренней и внешней жизни человека появляется лишь при условии, если внешняя и внутренняя свобода никогда не упускается из виду.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ЛИЧНОСТЬ ВАЛЬТЕРА НЕРНСТА *

Недавно умерший Вальтер Нернст был одним из самых своеобразных и интересных ученых, с которыми я был тесно связан на протяжении всей своей жизни. Он никогда не отказывался от участия в конференциях по физике в Берлине; его краткие замечания свидетельствовали о поистине удивительном научном инстинкте, сочетающемся со знанием огромной массы реальных фактов, которые были всегда в его распоряжении, и с редким владением экспериментальными методами. Он был блистательным мастером эффектных опытов. Хотя мы часто добродушно посмеивались над его детским тщеславием и самодовольством, мы искренне восхищались им и любили его. Пока не затрагивалась его эгоистическая слабость, он проявлял редко встречающуюся объективность, умение безошибочно чувствовать и настоящую страсть к познанию глубоких взаимосвязей в природе. Без такой страсти его в высшей степени созидательное творчество и его заметное влияние на научную жизнь первой трети нашего века были бы невозможны.

Он был последователем Аррениуса, Оствальда, Вант-Гоффа, как последний представитель династии, основывавшей свои исследования на термодинамике, осмотическом давлении и ионной теории. До 1905 г. его работа всецело ограничивалась этим кругом идей. Его теоретический багаж был несколько элементарен, но владел он им с редкой изобретательностью. Соплусь, например, на его теорию электродвижущих сил в растворах с локальным изменением концентрации, на теорию уменьшения растворимости путем добавления другого растворяющегося вещества. В этот период он изобрел забавный нулевой метод определения диэлектрической постоянной проводников электричества с помощью мостика Уитстона (переменный ток, телефон в качестве индикатора, компенсирующие емкости в плечах мостика сравнения).

* *The Work and Personality of Walter Nernst*. Scientific Monthly, 1942, 54, 195—196.

Этот первый творческий период в основном посвящен улучшению методов и дополнению исследований в области, где принципы были известны еще до Нернста. Эта работа привела его постепенно к общей проблеме, которую можно охарактеризовать следующим вопросом: возможно ли вычислить, исходя из известной энергии системы при определенных условиях, полезную работу, получаемую при ее переходе из одного состояния в другое? Нернст отдавал себе отчет, что теоретическое определение перехода в работу A разности энергии U с помощью одних лишь уравнений термодинамики невозможно. Из термодинамики можно вывести, что при температуре абсолютного нуля величины A и U должны быть равными. Но нельзя вывести A из U для любых произвольных температур, даже если значения энергии или разностей U известны при всех условиях. Этот расчет невозможен до тех пор, пока в соответствии с соотношением между этими величинами при низких температурах не вводилось определенное предположение, которое вследствие своей простоты казалось очевидным. Это предположение очень простое и состоит в том, что при низких температурах A становится независимой от температуры. Введение этого допущения в качестве гипотезы (третье начало теории теплоты) является наиболее выдающимся вкладом Нернста в теоретическую науку. Позже Планк нашел теоретически более удовлетворительное решение, а именно, что при абсолютном нуле энтропия равна нулю.

С точки зрения более старых воззрений о теплоте, это третье начало требует существования весьма странных связей между телами при низких температурах. Благодаря точности этого принципа, были значительно усовершенствованы методы калориметрии при низких температурах. Калориметрия высоких температур также значительно обязана Нернсту своим развитием. Своими исследованиями, как и многими стимулирующими советами, которые он изобретательно и неустанно поставлял экспериментаторам, работающим в его области, Нернст весьма действенно продвинул поисковую работу своего поколения. Важные результаты этих калориметрических исследований помогли возникновению квантовой теории, особенно до того, как теория атома Бора сделала спектроскопию наиболее важной областью эксперимента. Классическая работа Нернста, озаглавленная «Теоретическая химия», содержит обилие стимулирующих идей не только для студентов, но и для ученых; она написана теоретически элементарно, но умно, живо и полна упоминаний о множестве взаимосвязей. Она поистине отражает характер его интеллекта.

Нернст был не только ученым. Его солидный здравый смысл втягивал его в успешные занятия всеми областями практической жизни; в беседах с ним всегда выявлялось что-нибудь интересное. Что отличало его почти от всех его соотечественников, — так это отсутствие предвзятости. Он не

был ни националистом, ни милитаристом. Он судил о вещах и людях почти исключительно по их достижениям, а не по какому-то социальному или моральному идеалу. Он интересовался литературой и обладал чувством юмора в такой мере, которая редко встречается у людей, так сильно загруженных столь трудной работой. Это была своеобразная личность; я никогда не встречал кого-либо, кто походил бы на него.

Русский перевод опубликован в сб. «Физика и реальность».

ВСЕОБЩИЙ ЯЗЫК НАУКИ*

Первый шаг на пути к созданию языка заключался в выражении впечатлений от событий с помощью символов, звуков или каких-нибудь иных способов. Весьма вероятно, что столь примитивного уровня общения достигли, по крайней мере в известной степени, все животные, живущие сообществами. Более высокая ступень в общении достигается, когда вводят новые символы, уславливаются о том, что означают эти символы, и выражают отношение к событиям, обозначаемым ими. На этом этапе уже можно сообщать о более сложных последовательностях событий. Так рождается язык. Если язык должен служить всеобщему взаимопониманию, то те, кто им пользуется, должны придерживаться единых правил для символов, с одной стороны, и событий и связей между событиями, — с другой. Проблема овладения этими правилами решается теми, кто говорит на одном языке, в основном чисто интуитивно в детстве. Когда же эти правила осмысливаются, возникает то, что называют грамматикой. На ранней стадии каждое отдельное слово языка может соответствовать впечатлению. На более поздних стадиях такая прямая связь утрачивается, поскольку по крайней мере некоторые слова выражают впечатления только в комбинации с другими словами (например, слова «быть» или «вещь»). Теперь уже не отдельные слова ставятся в соответствие впечатлениям, а комбинации слов отвечают группам впечатлений. При этом язык становится отчасти независимым от первоначальных впечатлений и достигается его большая внутренняя связность и самостоятельность. Только на этом более высоком этапе развития, когда появляется достаточно много абстрактных понятий, язык становится инструментом мышления в подлинном смысле этого слова. Но именно здесь язык становится источником опасных ошибок и заблуждений. Все зависит от того, в какой мере слова и их комбинации соответствуют миру впечатлений.

* *The Common Language of Science. Advancement of Science, 1942, II, 109.*

На чем же основана столь тесная связь между языком и мышлением? Разве нельзя мыслить, пользуясь не языком, а лишь понятиями и комбинациями понятий, для которых невозможно подобрать слова? Разве не случилось каждому из нас подыскивать слово уже после того, как он ясно осознал связь между предметами? Мы были бы склонны приписывать акту мышления полную независимость от языка, если бы индивидуум формировал или мог формировать свои представления, не общаясь с другими людьми посредством языка. И все же, весьма вероятно, что мышление индивидуума, выросшего в подобных условиях, было бы очень ограниченным. Отсюда мы должны заключить, что умственное развитие индивидуума и в особенности характер формирования и комбинирования понятий в значительной мере связаны с языком. Следовательно, одинаковый язык означает одинаковое мышление. В этом смысле мышление и язык связаны друг с другом.

Что же отличает язык науки от языка в обычном смысле? Как объяснить, что язык науки в целом понятен каждому? Наука стремится к предельной точности и ясности понятий, их взаимосвязи и соответствия чувственным данным.

Рассмотрим в качестве примера язык евклидовой геометрии и алгебры. Имеется небольшое число вводимых независимо понятий и символов, таких, как число, прямая, точка, и фундаментальные правила комбинирования этих понятий. Вместе они образуют основу для построения или определения всех упорядоченных утверждений и других понятий. Связь между понятиями и утверждениями, с одной стороны, и данными чувственных ощущений — с другой, устанавливается путем операций счета и измерения, определенных с достаточной четкостью. Наднациональный характер научных понятий и научного языка обусловлен тем, что они были созданы лучшими умами всех времен и народов. В одиночестве (и тем не менее в совместном усилии, если рассматривать их конечную цель) они создали духовные орудия для технической революции, преобразившей за последнее столетие жизнь человечества. Созданная ими система понятий служила путеводной нитью в диком хаосе чувственных восприятий и научила нас извлекать общие истины из частных наблюдений.

Какие надежды и страхи принесет человечеству научный метод? Не думаю, чтобы этот вопрос был поставлен правильно. То, что может сотворить какое-либо устройство в руках людей, зависит исключительно от характера тех целей, которые ставит перед собой человечество. Коль скоро эти цели намечены, научный метод указывает средства для достижения их. Указывать же эти цели научный метод не может. Научный метод сам по себе не мог бы ни к чему привести и даже вообще не мог бы появиться, не будь у человека страстного стремления к ясному пониманию.

нию. Я считаю, что наш век характеризуется развенчиванием целей и совершенствованием средств для их достижения. Если мы страстно стремимся к безопасности, благосостоянию и свободному развитию всех людей, то должны найти и средства для достижения этого состояния. Если к этому стремится даже небольшая часть человечества, то время докажет правильность ее устремлений.

Статья напечатана в сб. «Out of My later Year» и «Ideas and Opinions». Русский перевод помещен в «Эйнштейновском сборнике» (М., 1966).

ЗАМЕЧАНИЯ О ТЕОРИИ ПОЗНАНИЯ БЕРТРАНА РАССЕЛА *

Когда редактор этого издания обратился ко мне с просьбой написать что-нибудь о Бертрane Расселе, мое восхищение этим ученым и уважение к нему заставили меня сразу же согласиться. Много счастливых часов я провел за чтением трудов Бертрана Рассела. Я не могу сказать этого ни о ком другом из современных ученых, за исключением Торстейна Веблена. Однако вскоре я обнаружил, что дать обещание легче, чем его выполнить. Я обещал сказать что-нибудь о Расселе как философе и ученом, занимающемся теорией познания. Самоуверенно взяв на себя эту задачу, я вскоре, однако, осознал, в какую скользкую область пришлось мне вступить, не обладая к тому же никаким опытом, ибо до сих пор я предосторожно ограничивал свою деятельность областью физики. В наше время физик вынужден заниматься философскими проблемами в гораздо большей степени, чем это приходилось делать физикам предыдущих поколений. К этому физиков вынуждают трудности их собственной науки. Хотя в этой статье я не буду останавливаться на этих трудностях, именно размышления над ними в гораздо большей степени, чем что-либо еще, заставили меня встать на ту точку зрения, которая будет кратко изложена в настоящей работе.

В процессе развития философской мысли на протяжении столетий первостепенное значение имел следующий вопрос: что может дать познанию чистое мышление независимо от чувственного восприятия. Возможно ли познание, основанное на чистом мышлении? Если же нет, то каково соотношение между познанием и тем сырым материалом, которым являются наши ощущения? Ответам на эти и некоторые другие вопросы, тесно с ними связанные, соответствует почти необозримый хаос философских воззрений. И все же среди этих сравнительно бесплодных, хотя и героиче-

* *Remarks on Bertrand Russell's theory of Knowledge.* В кн.: «The philosophy of Bertrand Russell». Ed. by Paul Arthur Schillp. The library of living philosophers, v. 5. Northwestern University, 1944, 278—291.

ческих усилий, можно усмотреть одну последовательную тенденцию развития, а именно: все возрастающий скептицизм по отношению ко всякой попытке узнать что-либо об «объективном мире» (в отличие от мира одних лишь «концепций и идей») с помощью одного лишь чистого мышления. Заметим в скобках, что мы как настоящие философы воспользовались здесь кавычками для того, чтобы ввести незаконное понятие. Мы просим читателя разрешить нам на некоторое время употребление этого понятия, хотя в глазах философской полиции оно подозрительно.

Во времена, когда философия переживала период своего детства, было распространено убеждение, что с помощью одного лишь чистого мышления можно познать все, что угодно. Эту иллюзию нетрудно понять, если на мгновение отказаться от всего, что нам известно из более современной философии и естественных наук. Вряд ли кто-нибудь удивится, узнав, что Платон считал более реальными «идеи», чем эмпирически воспринимаемые нами вещи. У Спинозы и даже у Гегеля этот предрассудок является той жизненной силой, которая все еще призвана играть главную роль. Разумеется, можно было бы поставить вопрос о том, можно ли вообще достичь сколько-нибудь значительного результата в области философской мысли, если не прибегать к этой иллюзии или чему-либо аналогичному ей; но мы такого вопроса ставить не будем.

Аристократическая иллюзия о неограниченной проницательности чистого мышления имеет своего двойника — значительно более плебейскую иллюзию наивного реализма, согласно которому все вещи «существуют» в том виде, в каком их воспринимают наши чувства. В обыденной жизни человека и животных господствует именно эта иллюзия. Она же служит отправным пунктом всех наук, в особенности естественных.

Поштыки преодолеть обе эти иллюзии нельзя считать независимыми друг от друга. Преодоление наивного реализма было сравнительно просто. Во введении к своей работе «Исследование смысла и истины» (*An Inquiry into Meaning and Truth*) Рассел дал необычайно красочную характеристику этого процесса: «Мы все начинаем с «наивного реализма», т. е. с учения, согласно которому все вещи представляют собой именно то, что мы видим. Мы думаем, что трава зеленая, камни твердые, а снег холодный. Но физика уверяет нас, что зелень травы, твердость камня и холодный снег не являются той зеленью, твердостью или тем холодом, с которыми мы знакомы по собственному опыту, а чем-то весьма отличным. Наблюдатель, когда ему кажется, что он видит камень, на самом деле, если верить физике, наблюдает эффекты, связанные с воздействием на него камня. Таким образом, мы видим, что наука воюет сама с собой: стремясь из всех сил быть объективной, она против своей воли оказывается погруженной в субъективизм. Наивный реализм приводит к физике, а физика, если она верна, показывает, что наивный реализм ложен.

Таким образом, если наивный реализм истинен, то он ложен. Следовательно, он ложен.»

Даже если отвлечься от мастерской формулировки, эти строки говорят мне нечто такое, что мне никогда не приходилось встречать прежде; в самом деле, при поверхностном рассмотрении образ мышления Беркли и Юма кажется резко отличающимся от образа мыслей, принятого в естественных науках. Связь же между этими образами мышления раскрывает только что цитированное замечание Рассела. Когда Беркли исходит из того, что наши органы чувств воспринимают непосредственно не «предметы» внешнего мира, а лишь процессы, причинно связанные с существованием этих предметов, то убеждение в правильности этого рассуждения основывается на нашем убеждении в правильности физического образа мыслей. Ибо если усомниться в физическом образе мыслей даже в его наиболее общих чертах, то отпадает всякая необходимость вводить что-либо между объектом и актом его наблюдения, что отделяло бы объект от субъекта и делало бы проблематичным «существование объекта».

Однако именно тот же физический образ мышления и его практические успехи поколебали уверенность в возможности познания вещей и связей между ними с помощью чисто умозрительных средств. Постепенно получило признание убеждение, согласно которому все наше знание о вещах состоит исключительно из переработанного сырья, доставляемого нашими органами чувств. В столь общем (и еще несколько нечетко сформулированном виде) это утверждение в настоящее время является, по видимому, общепринятым. Однако это убеждение покоится не на предположении о том, что кто-то в действительности доказал невозможность получения знания о реальности с помощью чистого мышления, а скорее на том, что эмпирическая (в упомянутом выше смысле) процедура уже доказала, что может быть источником знания. Этот принцип впервые с полной ясностью и четкостью был выдвинут Галилеем и Юмом.

Юм понимал, что те понятия, которые следует считать существенными (такие, например, как причинная связь), нельзя получить из материала, доставляемого нашими чувствами. Понимание этого обстоятельства вызвало у него скептическое отношение ко всякого рода знаниям. Читая книги Юма, поражаешься тому, как много (причем иногда весьма уважаемых) философов после него могли писать столько невежественных вещей и даже находить для своих писаний благодарных читателей. Юм оказал свое влияние на развитие лучших философов, живших после него. Дух Юма чувствуется и при чтении философских трудов Рассела, чья точность и простота выражений часто напоминала мне Юма.

Человек стремится к достоверному знанию. Именно поэтому обречена на неудачу миссия Юма. Сырой материал, поступающий от органов чувств, — единственный источник нашего познания, может привести нас по-

степенно к вере и надежде, но не к знанию, а тем более к пониманию закономерностей. Тут на сцену выходит Кант. Предложенная им идея, хоть и была неприемлема в своей первоначальной формулировке, означала шаг вперед в решении юмовской дилеммы: все в познании, что имеет эмпирическое происхождение, недостоверно (Юм). Следовательно, если мы располагаем достоверным знанием, то оно должно быть основано на чистом мышлении. Например, так обстоит дело с геометрическими теоремами и с принципом причинности. Эти и другие типы знания являются, так сказать, частью средств мышления и поэтому не должны быть сначала получены из ощущений (т. е. они являются априорным знанием). В настоящее время всем, разумеется, известно, что упомянутые выше понятия не обладают ни достоверностью, ни внутренней необходимостью, которые приписывал им Кант. Однако правильным в кантовской постановке проблемы является, на мой взгляд, следующее: если рассматривать с логической точки зрения, то окажется, что в процессе мышления мы, с некоторым «основанием», используем понятия, не связанные с ощущениями.

Я убежден, что на самом деле можно утверждать гораздо большее: все понятия, возникающие в процессе нашего мышления и в наших словесных выражениях, с чисто логической точки зрения являются свободными творениями разума, которые нельзя получить из ощущений. Это обстоятельство нелегко заметить лишь по следующей причине: мы имеем привычку так тесно связывать определенные понятия и суждения с некоторыми ощущениями, что не отдаем себе отчета в том, что мир чувственного восприятия отделен от мира понятий и суждений непроницаемой стеной, если подходить к этому вопросу чисто логически.

Так, например, натуральный ряд чисел, очевидно, является изобретением человеческого ума, создавшего орудие, позволяющее упростить упорядочение некоторых ощущений. Однако не существует способа, с помощью которого это понятие можно было бы вывести непосредственно из наших ощущений. Я специально выбрал понятие числа, ибо оно относится к донаучному мышлению и, несмотря на это, как нетрудно заметить, носит конструктивный характер. Однако чем более простые понятия повседневной жизни мы будем рассматривать, тем труднее нам будет узнавать в понятиях среди множества сложившихся привычек продукты независимого мышления. И тут-то и возникает роковое (роковое для понимания существующего положения вещей) представление о том, что все понятия получаются из ощущений путем «абстракции», т. е. отбрасывания какой-то части их содержания. Теперь я хочу остановиться на том, почему это представление кажется мне роковым.

Если встать на сторону критиков Юма, то нетрудно прийти к мысли о том, что все понятия и суждения, не выводимые из чувственных восприятий ввиду их «метафизического» характера, должны быть изъяты из мыш-

ления, ибо материалистичность мышления проявляется только в его связи с чувственным восприятием. Я считаю последнее утверждение абсолютно правильным, но основанное на нем предписание относительно того, что следует изъять из сферы мышления, — ложным. Это требование, если его проводить последовательно, полностью исключает всякое мышление как «метафизическое».

Чтобы мышление не вырождалось в «метафизику» или в пустую болтовню, необходимо лишь прочно связывать достаточное количество суждений в системе понятий с чувственными восприятиями, а система понятий, используемая для упорядочения чувственных восприятий и представления их в обозримом виде, должна быть по возможности единой и экономно построенной. В остальном эта «система» представляет собой свободную (т. е. любую логически возможную) игру с символами в соответствии с (логически) произвольно заданными правилами игры. Все сказанное применимо как к мышлению в повседневной жизни, так и к гораздо более сознательно и систематически построенному научному мышлению.

Что здесь имеется в виду, станет ясно из сказанного ниже. Своей ясной критикой Юм не только дал решающий толчок развитию философии, но и породил опасность для философии (хотя в этом его вины нет). Эта опасность заключается в роковой «боязни метафизики», ставшей какой-то болезнью современного эмпирического философствования. Эта боязнь является двойником более раннего философствования, когда считали, что чувственными восприятиями можно пренебречь и обойтись совсем без них.

Несмотря на то восхищение, которое испытываешь перед остроумным анализом, данным Расселом в его последней книге «Смысл и истина» («Meaning and Truth»), все же ощущается, что и в этом случае дух метафизической боязни нанес некоторый урон. Например, мне кажется, что этот страх вынудил рассматривать «вещи» как «наборы качеств», причем сами «качества» должны браться из чувственных восприятий. Далее, тот факт, что две вещи считают одной и той же вещью, если все их качества совпадают, заставляет рассматривать геометрические соотношения между вещами как отношения, определяемые их качествами. (В противном случае придется считать, что Эйфелева башня в Париже и в Нью-Йорке представляют собой «одну и ту же вещь».) И даже, несмотря на это, я не вижу никакой «метафизической» опасности в том, чтобы включить в систему в качестве независимого понятия вещь (объект в смысле физики) вместе с ее соответствующей пространственно-временной структурой.

Именно поэтому мне было особенно приятно узнать из последней главы этой книги, что в конце концов без «метафизики» обойтись нельзя.

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ РУДОЛЬФА КАЙЗЕРА „СПИНОЗА“*

Вряд ли могут проникательные люди с острой восприимчивостью избежать чувства подавленности и одиночества, сталкиваясь с ужасными событиями нашего времени. Уверенность в неуклонном движении человечества на пути к прогрессу, вдохновлявшая людей в XIX веке, уступила место всеобщему разочарованию. Разумеется, никто не может отрицать успехов, достигнутых в области науки, и технических новшеств, но на своем собственном опыте мы знаем, что все эти достижения не могут ни облегчить сколько-нибудь существенно те трудности, которые выпадают на долю человека, ни облагородить его поступки. Ставшая привычной причинная интерпретация всех явлений, в том числе и явлений, относящихся к психической и социальной сферам, лишила осторожно мыслящих интеллигентов чувства уверенности и тех утешений, которые прежние поколения могли найти в традиционной религии, подкрепляемой властью. Нынешнее положение в какой-то мере сходно с изгнанием из наивного детского рая.

Таковы в кратких словах бедствия, испытываемые мыслящим человеком нашего времени. Часто он ищет спасения от своего несчастья, пускаясь в причудливый, но поверхностный скептицизм или хватаясь за любое средство, способное отвлечь его от внешних раздражителей. Подобные усилия тщетны, ибо нельзя долгое время питаться наркотиками вместо обычной полезной пищи.

В общем же мы очень мало знаем о том, как люди борются с подобной ситуацией, если только мы не психиатры; но и они, как правило, имеют дело лишь с теми, у кого просто нет сил для самостоятельного разрешения духовного конфликта. За исключением этих случаев мы очень мало знаем о том, как наши современники решают проблему отношения индивидуума к заданным условиям как человеческого, так и внечеловеческого харак-

* Foreword: R u d o l f K a y s e r. Spinoza. Portrait of a spiritual Hero. Philos. Library. New York, 1946, IX—XI.

тера и достигают внутреннего покоя и уверенности, без которых невозможны ни гармоничное существование, ни работа. Кроме того, лишь немногие индивидуумы обладают столь ясным мышлением, что могут поделиться в понятной для окружающих форме своим субъективным опытом.

В силу сказанного для людей нашего времени особую важность приобретает знакомство с жизнью и борьбой выдающихся личностей, которые столкнулись с теми же духовными трудностями и преодолели их и чья биография и труды могут помочь нам понять существо их героических свершений.

Среди таких личностей одно из выдающихся мест занимает Барух Спиноза. Именно поэтому мы испытываем такое удовлетворение, знакомясь с жизнью и борьбой этого человека по предлагаемой вниманию читателя книге. Автор не смотрит на Спинозу критическим взглядом философа. Подход автора — это подход сочувствующего историка, интуитивно постигшего причины действий этой чистой и одинокой души. Разумеется, чтение книги Кайзера не может заменить подробного изучения собственных трудов Спинозы, но зато делает более близкой нам личность Спинозы и тем самым облегчает понимание его идей.

Хотя Спиноза жил триста лет тому назад, духовная обстановка, в условиях которой ему приходилось бороться, очень близко напоминает нашу. Спиноза был полностью убежден в причинной зависимости всех явлений еще в то время, когда попытки достичь понимания причинных связей между явлениями природы имели весьма скромный успех. Убежденность Спинозы в причинной зависимости всех явлений относилась не только к неодушевленной природе, но и к человеческим чувствам и поступкам. У него не было никаких сомнений относительно того, что наша свободная (т. е. неподчиняющаяся причинности) воля является иллюзией, обусловленной тем, что мы не принимаем во внимание причины, действующие внутри нас. В изучении этой причинной связи он видел средство излечения от страха, ненависти и горечи, единственное средство, к которому может обратиться мыслящий человек. Обоснованность своих убеждений он доказал не только с помощью ясного и точного изложения своих рассуждений, но и примером всей своей жизни.

ПОЛЬ ЛАНЖЕВЕН *

Известие о смерти Поля Ланжевена причинило мне более сильную боль, чем многие события этих горестных и полных разочарований лет.

Почему так? Разве он не наслаждался долгой жизнью, заполненной плодотворной творческой работой, жизнью человека, гармонирующей с ним самим? Не был ли он широко почитаем за его проникающее знание интеллектуальных проблем, повсеместно любим за преданность всему хорошему и умную доброжелательность ко всему сущему? Не чувствовал ли он определенное удовлетворение от того, что жизни индивидуума поставлены естественные пределы, так что в конце она представляется произведением искусства? Боль, которую мне причинила смерть Поля Ланжевена, была для меня особенно острой, потому что во мне возникло чувство одиночества и опустошенности.

В одном поколении так мало людей, которые обладали бы одновременно ясным пониманием природы вещей, глубоким чувством истинных человеческих потребностей и способностью к активным действиям! Когда такой человек уходит из жизни, он оставляет пустоту, которая кажется невыносимой тем, кто его переживает.

Ланжевен обладал ясным и проникающим умом, в котором соединялись быстрота и уверенное интуитивное видение существенных начал. Результатом этих качеств было то обстоятельство, что его лекции оказали решающее влияние на несколько поколений французских физиков-теоретиков. Но он знал и значительную часть экспериментальной техники; его критика и конструктивные предложения всегда оказывали плодотворное действие. Его собственные исследования решающим образом повлияли на развитие науки, в основном магнетизма и ионной теории.

И все-таки, бремя обязанностей, которые он всегда был готов принять на себя, ограничивало его личные исследования, так что плоды его трудов

* *Paul Langevin*. La Pensee: revue du rationalisme moderne, 1947, No 12 (May — June), 13—14.

появлялись в публикациях других ученых больше, чем в его собственных.

Я уверен, что он бы развил специальную теорию относительности, если бы это не было сделано в другом месте, ибо он ясно заметил ее существенные черты. Замечательно и то, что он вполне оценил значение идей де Бройля, из которых Шредингер позже развил методы волновой механики, даже раньше, чем эти идеи консолидировались в прочную теорию. Я живо припоминаю, с каким удовольствием и теплотой он мне говорил о них; вспоминаю также, что следил за его высказываниями с неуверенностью и сомнением.

В течение всей своей жизни Ланжевен страдал от того, что видел недостатки и несправедливости наших социальных и экономических институтов. Он все-таки твердо верил в силу разума и науки. Сердце его было настолько чисто, что он был убежден в готовности всех людей отказаться полностью от личного, как только они познали свет разума и справедливости. Разум был его верой — верой, которая должна была дать не только свет, но и спасение. Его желание помочь всем людям в том, чтобы они воспользовались более счастливой жизнью, было, возможно, сильнее, чем желание чисто умственного познания. Случалось, что он жертвовал много времени и энергии для выяснения политических вопросов. Никто из тех, кто обращался к его общественному сознанию, не уходил от него с пустыми руками. Истинное моральное величие его личности было причиной, вызывавшей ярую ненависть многих интеллигентов, чаще всего ограниченных. Но зато он понимал всех и в своей доброте не питал никакой неприязни к кому бы то ни было.

Я считаю большой удачей для себя то, что знал такого, высокообразованного и духовно чистого человека.

Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность»; английский перевод напечатан в «Out of My later Years».

ПАМЯТИ МАКСА ПЛАНКА *

Человек, которому было суждено одарить мир великой созидательной идеей, не нуждается в похвале потомства. Его творчество даровало ему более значительное благо.

Вместе с тем хорошо — и это было необходимо, — что представители тех, кто борется за истину и знания, собрались сегодня здесь со всех четырех сторон света. Они присутствуют здесь, чтобы доказать, что даже в такие времена, как наши, когда политические страсти и грубая сила нависают, как меч, над головами людей, полных тревоги и страха, знамя идеала нашего поиска истины держится высоко и в чистоте. Этот идеал — вечная связь, объединяющая ученых всех времен и народов, — на редкость совершенно отражен в личности Макса Планка.

Уже греки поняли атомистическую природу материи, и эта концепция была возведена до высокой степени вероятности учеными XIX столетия. Но именно закон излучения Планка дал первое точное определение абсолютных величин атомов, независимо от других предложений. Больше того, он убедительно доказал, что, кроме атомистической структуры материи, существует своего рода атомистическая структура энергии, управляемая универсальной постоянной h , введенной Планком.

Это открытие стало основой всех исследований в физике XX века и с тех пор почти полностью обусловило ее развитие. Без этого открытия было бы невозможно установить действенную теорию молекул и атомов и энергетических процессов, управляющих их превращениями. Больше того, оно разрушило остоу классической механики и электродинамики и поставило перед наукой задачу: найти новую познавательную основу для всей физики. Несмотря на значительные частные достижения, проблема еще далека от удовлетворительного решения.

Отдавая дань уважения великому человеку, Американская национальная академия наук выражает надежду, что исследования ради чистого познания не будут прекращены и сохранят всю свою силу.

* *Max Planck in Memoriam* (April 1948). В сб.: «Out of My later Years». New York, 1950, 229—230. (Русский перевод опубликован в сб.: «Физика и реальность». — *Ред.*.)

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ Л. БАРНЕТТА „ВСЕЛЕННАЯ И Д-Р ЭЙНШТЕЙН“*

Всякий, кому хоть раз приходилось популярно излагать какую-нибудь абстрактную научную тему, знает, как это трудно. Изложение можно сделать понятным, обойдя существо проблемы и предлагая вниманию читателя лишь ее поверхностные аспекты или смутные намеки. При этом читатель будет введен в заблуждение, ибо у него создастся обманчивое впечатление, что он все понял. Можно поступить иначе и написать с полным знанием дела обзор проблемы, но так, что изложение будет недоступно неподготовленному читателю и надолго отпугнет его от чтения другой литературы.

Если из современной научно-популярной литературы выбросить работы, относящиеся к этим двум категориям, то от нее останется удивительно мало. Но то, что останется, будет по-настоящему ценно. Особенно важно, что самые широкие круги общественности получают возможность ясно и отчетливо познать движущие силы и результаты научного исследования. Ведь совершенно недостаточно, чтобы каждый результат воспринимался, разрабатывался и применялся узким кругом специалистов в некоторой конкретной области. Сужение круга людей, которым доступно знание, до небольшой группы посвященных означало бы умерщвление философского духа народа и наступление духовной нищеты.

Книга Линкольна Барнетта представляет собой ценный вклад в научно-популярную литературу. Основные идеи теории относительности изложены в ней чрезвычайно хорошо. Кроме того, в ней приводится удачная характеристика современного состояния наших знаний в области физики. Автор показывает, как накопление фактов вместе со стремлением к единой теоретической концепции, охватывающей все эмпирические данные, привело к современной ситуации, для которой, несмотря на все достигнутые успехи, характерна неопределенность в выборе основных теоретических понятий.

Принстон, 10 сентября 1948 г.

* *Foreword.* В кн.: L. Barnett. The Universe and Dr. Einstein. New York, 1949, 1—2.

АВТОБИОГРАФИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ *

Вот я здесь сижу и пишу на 68-м году жизни что-то вроде собственно-го некролога. Делаю я это не только потому, что меня уговорили; я и сам думаю, что показать своим ищущим братьям, какими представляются, в исторической перспективе, собственные стремления и искания,— дело хорошее. После некоторого размышления я, однако, почувствовал, как неполна и несовершенна должна оказаться такая попытка. Ведь как бы ни была коротка и ограничена трудовая жизнь, как бы ни преобладали в ней ошибки и блуждания, все же отобрать и изложить то, что этого заслуживает,— задача нелегкая. Когда человеку 67 лет, то он не тот, каким был в 50, 30 и 20 лет. Всякое воспоминание подкрашено тем, что представляет человек сейчас, а нынешняя точка зрения может ввести в заблуждение. Это соображение могло бы отпугнуть. Но, с другой стороны, из собственных переживаний можно почерпнуть многое такое, что недоступно сознанию другого.

Еще будучи довольно скороспелым молодым человеком, я живо осознал ничтожество тех надежд и стремлений, которые гонят сквозь жизнь большинство людей, не давая им отдыха. Скоро я увидел и жестокость этой гонки, которая, впрочем, в то время прикрывалась тщательнее, чем теперь, лицемерием и красивыми словами. Каждый был вынужден участвовать в этой гонке ради своего желудка. Участие это могло удовлетворить желудок, но никак не всего человека как мыслящего и чувствующего существа. Выход отсюда указывался прежде всего религией, которая насаждается всем детям традиционной машиной воспитания. Таким путем я, хотя и был сыном совсем нерелигиозных (еврейских) родителей, пришел к глубокой религиозности, которая, однако, уже в возрасте 12 лет резко оборвалась. Чтение научно-популярных книжек привело меня вскоре к убеждению, что в библейских рассказах многое не может быть верным. Следствием этого было прямо-таки фанатическое свободомыслие, соеди-

* *Autobiographisches (Autobiographical Notes)*. В кн.: «Albert Einstein — Philosopher-Scientist», ed. by P. A. Schilpp, Evanston (Illinois), 1945, 1—95 (на немецком и английском языках).

ненное с выводами, что молодежь умышленно обманывается государством; это был потрясающий вывод. Такие переживания породили недоверие ко всякого рода авторитетам и скептическое отношение к верованиям и убеждениям, жившим в окружавшей меня тогда социальной среде. Этот скептицизм никогда меня уже не оставлял, хотя и потерял свою остроту впоследствии, когда я лучше разобрался в причинной связи явлений.

Для меня ясно, что утраченный таким образом религиозный рай молодости представлял первую попытку освободиться от пут «только личного», от существования, в котором господствовали желания, надежды и примитивные чувства.

Там, во вне, существовал большой мир, существующий независимо от нас, людей, и стоящий перед нами как огромная вечная загадка, доступная, однако, по крайней мере отчасти, нашему восприятию и нашему разуму. Изучение этого мира манило как освобождение, и я скоро убедился, что многие из тех, кого я научился ценить и уважать, нашли свою внутреннюю свободу и уверенность, отдавшись целиком этому занятию. Мысленный охват, в рамках доступных нам возможностей, этого внеличного мира представлялся мне наполовину сознательно, наполовину бессознательно как высшая цель. Те, кто так думал, будь то мои современники или люди прошлого, вместе с выработанными ими взглядами, были моими единственными и неизменными друзьями. Дорога к этому раю была не так удобна и завлекательна, как дорога к религиозному раю, но она оказалась надежной, и я никогда не жалел, что по ней пошел.

То, что я сейчас сказал, верно только в известном смысле, подобно тому как рисунок, состоящий из немногих штрихов, только в ограниченном смысле может передать сложный предмет, с его запутанными мелкими подробностями. Если данная личность особенно ценит остро отточенную мысль, то эта сторона ее существа может выделяться ярче других ее сторон и в большей степени определять ее духовный мир. Может тогда случиться, что в ретроспективном взгляде эта личность усмотрит систематическое саморазвитие там, где фактические переживания чередовались в калейдоскопическом беспорядке. В самом деле, многообразие внешних обстоятельств, в соединении с тем, что в каждый данный момент думаешь только об одном, вводит в сознательную жизнь каждого человека своего рода атомную структуру. В развитии человека моего склада поворотная точка достигается тогда, когда главный интерес жизни понемногу отрывается от мгновенного и личного и все больше и больше концентрируется в стремлении мысленно охватить природу вещей. С этой точки зрения приведенные выше схематические заметки содержат верного столько, сколько вообще может быть сказано в таких немногих словах.

Что значит, в сущности, «думать»? Когда при восприятии ощущений, идущих от органов чувств, в воображении всплывают картины-воспомина-

ния, то это еще не значит «думать». Когда эти картины становятся в ряд, каждый член которого пробуждает следующий, то и это еще не есть мышление. Но когда определенная картина встречается во многих таких рядах, то она, в силу своего повторения, начинает служить упорядочивающим элементом для таких рядов, благодаря тому, что она связывает ряды, сами по себе лишенные связи. Такой элемент становится орудием, становится понятием. Мне кажется, что переход от свободных ассоциаций или «мечтаний» к мышлению характеризуется той, более или менее доминирующей, ролью, какую играет при этом «понятие». Само по себе не представляется необходимым, чтобы понятие соединялось с символом, действующим на органы чувств и воспроизводимым (со словом); но если это имеет место, то мысль может быть сообщена другому лицу.

По какому же праву, спросит теперь читатель, оперирует этот человек так бесперемежно и кустарно с идеями в такой проблематической области, не делая притом ни малейшей попытки что-либо доказать? Мое оправдание: всякое наше мышление — того же рода; оно представляет собой свободную игру с понятиями. Обоснование этой игры заключается в достижимой при помощи нее возможности обозреть чувственные восприятия. Понятие «истины» к такому образованию еще совсем неприменимо; это понятие может, по моему мнению, быть введено только тогда, когда имеется налицо условное соглашение относительно элементов и правил игры.

Для меня не подлежит сомнению, что наше мышление протекает в основном, минуя символы (слова), и к тому же бессознательно. Если бы это было иначе, то почему нам случается иногда «удивляться», притом совершенно спонтанно, тому или иному восприятию? Этот «акт удивления», по-видимому, наступает тогда, когда восприятие вступает в конфликт с достаточно установившимся в нас миром понятий. В тех случаях, когда такой конфликт переживается остро и интенсивно, он в свою очередь оказывает сильное влияние на наш умственный мир. Развитие этого умственного мира представляет собой в известном смысле преодоление чувства удивления — непрерывное бегство от «удивительного», от «чуда»¹.

Чудо такого рода я испытал ребенком 4 или 5 лет, когда мой отец показал мне компас. То, что эта стрелка вела себя так определенно, никак не подходило к тому роду явлений, которые могли найти себе место в моем неосознанном мире понятий (действие через прикосновение). Я помню еще и сейчас — или мне кажется, что я помню, — что этот случай произвел на меня глубокое и длительное впечатление. За вещами должно быть что-то еще, глубоко скрытое. Человек так не реагирует на то, что он видит с

¹ Слова «чудо» и «удивление» имеют в немецком языке один и тот же корень «Wunder». — Прим. перев.

малых лет. Ему не кажется удивительным падение тел, ветер и дождь, он не удивляется на луну и на то, что она не падает, не удивляется различию между живым и неживым.

В возрасте 12 лет я пережил еще одно чудо совсем другого рода: источником его была книжечка по евклидовой геометрии на плоскости, которая попала мне в руки в начале учебного года. Там были утверждения, например, о пересечении трех высот треугольника в одной точке, которые хотя и не были сами по себе очевидны, но могли быть доказаны с уверенностью, исключавшей как будто всякие сомнения. Эта ясность и уверенность произвели на меня неопишемое впечатление. Меня не беспокоило то, что аксиомы должны быть приняты без доказательства. Вообще мне было вполне достаточно, если я мог в своих доказательствах опираться на такие положения, справедливость которых представлялась мне бесспорной. Я помню, например, что теорема Пифагора была мне показана моим дядей еще до того, как в мои руки попала священная книжечка по геометрии. С большим трудом мне удалось «доказать» эту теорему при помощи подобных треугольников; при этом мне казалось, однако, «очевидным», что отношение сторон прямоугольного треугольника должно полностью определяться одним из его острых углов. Вообще мне казалось, что доказывать нужно только то, что не «очевидно» в этом смысле. И предметы, с которыми имеет дело геометрия, не казались мне другой природы, чем «видимые и осязаемые» предметы, т. е. предметы, воспринимаемые органами чувств. Это примитивное понимание основано, конечно, на том, что бессознательно учитывалась связь между геометрическими понятиями и наблюдаемыми предметами (длина — твердый стержень и т. п.). Возможно, что это понимание лежит в основе известной кантовской постановки вопроса относительно возможности «синтетического суждения априори».

Хотя это выглядело так, будто путем чистого размышления можно получить достоверные сведения о наблюдаемых предметах, но такое «чудо» было основано на ошибке. Все же тому, кто испытывает это «чудо» в первый раз, кажется удивительным самый факт, что человек способен достигнуть такой степени надежности и чистоты в отвлеченном мышлении, какую нам впервые показали греки в геометрии.

Раз я позволил себе прервать начатый с грехом пополам некролог, я уже не буду стесняться выразить здесь в нескольких фразах свое гносеологическое кредо, хотя кое-что из этого было уже попутно сказано ранее. Эти мои убеждения складывались медленно и сложились много позднее; они не соответствуют тем установкам, которые у меня были, когда я был моложе.

Я вижу, с одной стороны, совокупность ощущений, идущих от органов чувств; с другой стороны, совокупность понятий и предложений, записанных в книгах. Связи понятий и предложений между собою — логичес-

кого характера; задача логического мышления сводится исключительно к установлению соотношений между понятиями и предложениями по твердым правилам, которыми занимается логика. Понятия и предложения получают смысл, или «содержание», только благодаря их связи с ощущениями. Связь последних с первыми — чисто интуитивная и сама по себе нелогической природы. Научная «истина» отличается от пустого фантазирования только степенью надежности, с которой можно провести эту связь или интуитивное сопоставление, и ничем иным. Система понятий есть творение человека, как и правила синтаксиса, определяющие ее структуру. Хотя системы понятий сами по себе логически совершенно произвольны, но их связывает то, что они, во-первых, должны допускать возможно надежное (интуитивное) и полное сопоставление с совокупностью ощущений; во-вторых, они должны стремиться обойтись наименьшим числом логически независимых элементов (основных понятий и аксиом), т. е. таких понятий, для которых не дается определений, и таких предложений, для которых не дается доказательств.

Предложение верно, если оно выведено внутри некоторой логической системы по принятым правилам. Содержание истины в системе определяется надежностью и полнотой ее соответствия с совокупностью ощущений. Вернее, предложение заимствует свою «истинность» из запаса истины, содержащегося в системе, его заключающей.

Замечание к историческому развитию. Юм ясно понял, что некоторые понятия, например понятие причинности, не могут быть выведены из опытных данных логическим путем. Кант, убежденный в том, что без некоторых понятий обойтись нельзя, считал эти понятия в их принятой форме необходимыми предпосылками всякого мышления и отличал их от понятий эмпирического происхождения. Я же уверен, что это разграничение ошибочно и не охватывает естественным образом задачу. Все понятия, даже и ближайшие к ощущениям и переживаниям, являются с логической точки зрения произвольными положениями, точно так же, как и понятие причинности, о котором в первую очередь шла речь.

Возвращаюсь теперь к некрологу. В возрасте 12—16 лет я ознакомился с элементами математики, включая основы дифференциального и интегрального исчисления. При этом, на мое счастье, мне попались книги, в которых обращалось не слишком много внимания на логическую строгость, зато хорошо была выделена везде главная мысль. Все это занятие было поистине увлекательно; в нем были взлеты, по силе впечатления не уступавшие «чуду» элементарной геометрии, — основная идея аналитической геометрии, бесконечные ряды, понятие дифференциала и интеграла. Мне посчастливилось также получить понятие о главнейших результатах и методах естественных наук по очень хорошему популярному изданию, в котором изложение почти везде ограничивалось качественной стороной

вопроса (бернштейновские естественнонаучные книги для народа — труд в 5—6 томов); книги эти я читал, не переводя дыхания. К тому времени, когда я в возрасте 17 лет поступил в Цюрихский политехникум в качестве студента по физике и математике, я уже был немного знаком и с теоретической физикой.

Там у меня были прекрасные преподаватели (например, Гурвиц, Минковский), так что, собственно говоря, я мог бы получить солидное математическое образование. Я же большую часть времени работал в физической лаборатории, увлеченный непосредственным соприкосновением с опытом. Остальное время я использовал главным образом для того, чтобы дома изучать труды Кирхгофа, Гельмгольца, Герца и т. д. Причиной того, что я до некоторой степени пренебрегал математикой, было не только преобладание естественнонаучных интересов над интересами математическими, но и следующее своеобразное чувство. Я видел, что математика делится на множество специальных областей и каждая из них может занять всю отпущенную нам короткую жизнь. И я увидел себя в положении буриданова осла, который не может решить, какую же ему взять охапку сена. Дело было, очевидно, в том, что моя интуиция в области математики была недостаточно сильна, чтобы уверенно отличить основное и важное от остальной учености, без которой еще можно обойтись. Кроме того, и интерес к исследованию природы, несомненно, был сильнее; мне как студенту не было еще ясно, что доступ к более глубоким принципиальным проблемам в физике требует тончайших математических методов. Это стало мне выясняться лишь постепенно, после многих лет самостоятельной научной работы. Конечно, и физика была разделена на специальные области, и каждая из них могла поглотить короткую трудовую жизнь, так и не удовлетворив жажды более глубокого познания. Огромное количество недостаточно увязанных эмпирически фактов действовало и здесь подавляюще. Но здесь я скоро научился выскивать то, что может повести в глубину, и отбрасывать все остальное, все то, что перегружает ум и отвлекает от существенного. Тут была, однако, та загвоздка, что для экзамена нужно было напихивать в себя — хочешь не хочешь — всю эту премудрость. Такое принуждение настолько меня запугивало, что целый год после сдачи окончательного экзамена всякое размышление о научных проблемах было для меня отравлено. При этом я должен сказать, что мы в Швейцарии страдали от того принуждения, удручающего настоящую научную работу, значительно меньше, чем страдают студенты во многих других местах. Было всего два экзамена; в остальном можно было делать более или менее то, что хочешь. Особенно хорошо было тому, у кого, как у меня, был друг, аккуратно посещавший все лекции и добросовестно обрабатывавший их содержание. Это давало свободу в выборе занятия вплоть до нескольких месяцев перед экзаменом, свободу, которой я широко пользовался; связанную же

с ней нечистую совесть я принимал как неизбежное, притом значительно меньшее, зло. В сущности, почти чудо, что современные методы обучения еще не совсем удушили святую любознательность, ибо это нежное растение требует наряду с поощрением прежде всего свободы — без нее оно неизбежно погибает. Большая ошибка думать, что чувство долга и принуждение могут способствовать находить радость в том, чтобы смотреть и искать. Мне кажется, что даже здоровое хищное животное потеряло бы жадность к еде, если бы удалось с помощью бича заставить его непрерывно есть, даже когда оно не голодно, и особенно если принудительно предлагаемая еда не им выбрана.

Обратимся теперь к физике, какой она представлялась в то время. Несмотря на то, что в отдельных областях она процветала, в принципиальных вещах господствовал догматический застой. В начале (если таковое было) бог создал ньютоновы законы движения вместе с необходимыми массами и силами. Этим все и исчерпывается; остальное должно получиться дедуктивным путем, в результате разработки надлежащих математических методов. Опираясь на эту основу и в особенности применяя уравнения в частных производных, XIX столетие дало так много, что это должно вызывать удивление всякого мыслящего человека. Ньютон, вероятно, первый продемонстрировал в своей теории распространения звука плодотворность метода дифференциальных уравнений в частных производных. Эйлер создал уже основы гидродинамики. Но более детальное построение механики дискретных масс как основы всей физики было достижением XIX в. На студента наибольшее впечатление производило не столько построение самого аппарата механики и решение сложных задач, сколько достижения механики в областях, на первый взгляд совсем с ней не связанных: механическая теория света, которая рассматривала свет как волновое движение квазитвердого упругого эфира, и прежде всего кинетическая теория газов. Здесь следует упомянуть независимость теплоемкости одноатомных газов от атомного веса, вывод уравнения состояния газа и его связь с теплоемкостью, а главное — численную зависимость между вязкостью, теплопроводностью и диффузией газов, которая давала и абсолютные размеры атома. Эти результаты служили одновременно подтверждением механики как основы физики и подтверждением атомной гипотезы, которая тогда уже твердо укрепилась в химии. Однако в химии играли роль только отношения атомных масс, а не их абсолютные величины, поэтому там атомную теорию можно было рассматривать скорее как наглядную аналогию, а не как познание действительного строения материи. Независимо от этого, глубочайший интерес вызывало и то, что статистическая теория классической механики была в состоянии вывести основные законы термодинамики; по существу, это было сделано уже Больцманом.

Нельзя поэтому удивляться, что физики прошлого века видели в классической механике незыблемое основание для всей физики и даже для всего естествознания; они неустанно пытались обосновать на механике и максвелловскую теорию электромагнетизма, медленно пробивавшую себе дорогу. Максвелл и Герц в своем сознательном мышлении также считали механику надежной основой физики, хотя в исторической перспективе следует признать, что именно они и подорвали доверие к механике как основе основ всего физического мышления. Эрнст Мах в своей истории механики потряс эту догматическую веру; на меня — студента — эта книга оказала глубокое влияние именно в этом отношении. Я вижу действительное величие Маха в его неподкупном скепсисе и независимости; в мои молодые годы на меня произвела сильное впечатление также и гносеологическая установка Маха, которая сегодня представляется мне в существенных пунктах несостоятельной. А именно: он недостаточно подчеркнул конструктивный и спекулятивный характер всякого мышления, в особенности научного мышления. Вследствие этого он осудил теорию как раз в тех ее местах, где конструктивно-спекулятивный характер ее выступает неприкрыто, например в кинетической теории.

Прежде чем приняться за критику механики как основы физики, нужно сначала высказать несколько общих положений о точках зрения, или критериях, с которых вообще можно критиковать физические теории. Первый критерий очевиден: теория не должна противоречить данным опыта. Но насколько очевидным кажется это требование само по себе, настолько тонким оказывается его применение. Дело в том, что часто, если не всегда, можно сохранить данную общую теоретическую основу, если только приспособлять ее к фактам при помощи более или менее искусственных дополнительных предположений. Во всяком случае, в этом первом критерии речь идет о проверке теоретической основы на имеющемся опытным материале.

Во втором критерии речь идет не об отношении к опытному материалу, а о предпосылках самой теории, о том, что можно было бы кратко, хотя и не вполне ясно, назвать «естественностью» или «логической простотой» предпосылок (основных понятий и основных соотношений между ними). Этот критерий, точная формулировка которого представляет большие трудности, всегда играл большую роль при выборе между теориями и при их оценке. Речь идет здесь не просто о каком-то перечислении логически независимых предпосылок (если таковое вообще возможно однозначным образом), а о своего рода взвешивании и сравнении несоизмеримых качеств. Далее, из двух теорий с одинаково «простыми» основными положениями следует предпочесть ту, которая сильнее ограничивает возможные априори качества систем (т. е. содержит наиболее определенные утверждения). Относительно «области применимости» теорий мне можно здесь не

говорить ничего, поскольку мы рассматриваем только такие теории, предметом которых является вся совокупность физических явлений.

Второй критерий можно кратко характеризовать как критерий «внутреннего совершенства» теории, тогда как первый относится к ее «внешнему оправданию». К «внутреннему совершенству» теории я причисляю также и следующее: теория представляется нам более ценной тогда, когда она не является логически произвольным образом выбранной среди приблизительно равноценных и аналогично построенных теорий.

Недостаточную определенность моих утверждений в двух последних абзацах я не буду оправдывать недостатком отведенного мне в печати места; я прямо признаю, что так сразу я не могу, а может быть, и вообще не в состоянии, заменить эти намеки точными определениями. Однако я считаю, что более точная формулировка возможна. Во всяком случае, мы видим, что между «авгурами» большею частью наблюдается полное согласие в суждении о «внутреннем совершенстве» теорий и в особенности о степени их «внешнего оправдания».

Переходим теперь к критике механики как основы физики.

С точки зрения первого критерия (проверка на опыте) включение волновой оптики в механическую картину мира должно было вызывать серьезные сомнения. Если считать, что свет должен рассматриваться как волновое движение в упругом теле (в эфире), то это тело должно быть всепроникающей средой. В силу поперечности световых волн среда эта должна быть в основном подобна твердому телу, однако она должна быть нежизняемой, чтобы продольные волны не существовали. Этот эфир должен был вести рядом с обычной материей призрачное существование, поскольку он как будто не оказывал никакого сопротивления движению «весомых» тел. Чтобы объяснить показатели преломления прозрачных тел, а также процессы испускания и поглощения света, пришлось бы принять путаные взаимодействия между двумя родами материи; это не только не было выполнено, но даже никто этого серьезно и не пробовал.

Далее, электромагнитные силы заставили ввести электрические массы, которые, хотя и не обладали заметной инертностью, оказывали друг на друга воздействие; в отличие от силы тяготения это взаимодействие имело полярный характер.

Причиной, в конце концов побудившей физиков отказаться после долгих колебаний от веры в возможность построить всю физику на основе ньютоновой механики, — была электродинамика Фарадея — Максвелла. Эта теория, вместе с опытами Герца, ее подтвердившими, показала, что существуют электромагнитные процессы, по существу своему оторванные от всякой весомой материи, а именно волны, представляющие собой колебания электромагнитных «полей» в пустом пространстве. Кто хотел сохранить механику как основу физики, тот должен был дать механическое

толкование уравнениям Максвелла. Над этим и стали трудиться усерднейшим образом, но совершенно бесплодно, тогда как самые уравнения во все большей степени выявляли свою плодотворность. Люди привыкли оперировать с этими полями как с самостоятельными реальностями, не вдаваясь в их механическую природу. Так, почти незаметно, взгляд на механику как на основу физики был оставлен; это произошло потому, что приспособление механики к опытным фактам оказалось безнадежным. С тех пор существуют две системы элементарных понятий: с одной стороны, взаимодействующие на расстоянии материальные точки, а с другой — непрерывное поле. Это состояние физики, в котором отсутствует единая ее основа, является как бы переходным; при всей его неудовлетворительности оно далеко еще не преодолено...

Теперь о критике механики как основы физики с точки зрения второго, «внутреннего», критерия. При современном состоянии науки, когда механический фундамент уже оставлен, такого рода критика может иметь лишь методический интерес. Однако она весьма пригодна в качестве примера такой аргументации, которая в будущем должна при выборе между теориями играть тем большую роль, чем дальше отстоят их основные понятия и аксиомы от непосредственно наблюдаемого; при таких обстоятельствах сопоставление выводов теории с опытом становится все сложнее и затруднительнее. Здесь следует в первую очередь упомянуть одно соображение Маха, которое, впрочем, было совершенно ясно уже и Ньютону (опыт с ведром). С точки зрения чисто геометрического описания, все «жесткие» системы отсчета являются в логическом отношении равноправными. Однако уравнения механики (и уже первый закон Ньютона) справедливы лишь в некоторых из этих систем отсчета, а именно в «инерциальных» системах, составляющих особый класс. При этом характер системы отсчета, как материального тела, оказывается несущественным. Необходимо брать именно инерциальную систему отсчета должна быть поэтому обусловлена чем-то лежащим вне тех предметов (масс, расстояний), о которых идет речь в теории. В качестве такого определяющего обстоятельства Ньютон ввел «абсолютное пространство» как некоего вездесущего активного участника всех механических процессов. Под «абсолютным» Ньютон, очевидно, разумеет «не подверженное влиянию масс и их движений». Положение усугубляется тем, что предполагается существование бесконечного множества инерционных систем, движущихся друг относительно друга равномерно и без вращения, причем эти системы отсчета предполагаются выделенными среди всех остальных жестких систем отсчета.

По мнению Маха, в действительно рациональной теории инертность должна, подобно другим ньютоновским силам, происходить от взаимодействия масс. Это мнение я долгое время считал в принципе правильным.

Оно неявным образом предполагает, однако, что теория, на которой все основано, должна принадлежать тому же общему типу, как и ньютонова механика: основными понятиями в ней должны служить массы и взаимодействия между ними. Между тем нетрудно видеть, что такая попытка решения не вяжется с духом теории поля.

Тем не менее маховская критика сама по себе вполне обоснована. Это особенно ясно видно из следующей аналогии. Представим себе людей, строящих механику; пусть при этом они знают только небольшую часть земной поверхности и не имеют возможности видеть звезды. Они будут склонны приписывать вертикальному измерению пространства (направление ускорения при падении) особые физические свойства. На этом основании они придут к заключению, что поверхность земли преимущественно горизонтальна. Положим, что они не поддаются соображению, что пространство в геометрическом отношении изотропно и что поэтому нельзя строить основные физические законы так, чтобы из них следовало наличие привилегированного направления; эти люди, вероятно, будут склонны утверждать (подобно Ньютону), что вертикаль абсолютна, что это показывает опыт и с этим приходится считаться. Выделение вертикалей перед всеми другими направлениями совершенно аналогично выделению инерциальных систем перед другими жесткими координатными системами.

Приведем теперь дальнейшие аргументы, которые тоже относятся к вопросу о внутренней простоте и естественности механики. Если принять без критических сомнений понятия пространства (включая геометрию) и времени, то еще нет оснований возражать против введения сил дальнего действия в качестве исходных понятий, хотя понятие дальнего действия и не согласуется с теми идеями, которые люди себе вырабатывают на основании грубого повседневного опыта. Зато имеется другое соображение, благодаря которому понимание механики как основы физики представляется нам примитивным.

В основном имеются два закона.

1) Закон движения.

2) Выражение для силы (или для потенциальной энергии).

Закон движения точен, но он бессодержателен, пока не дано выражение для силы. Написание этого выражения связано, однако, с широким произволом, особенно если отбросить неочевидное само по себе требование, чтобы силы зависели только от самих координат (а, например, не от их производных по времени).

В рамках такой теории произвольным является и то, что действие сил тяготения (и электрических сил), выходящих из одной точки, определяется потенциальной функцией ($1/r$). Дополнительное замечание: уже давно известно, что эта функция является центрально-симметрическим решением простейшего (инвариантного по отношению к вращениям) дифференциаль-

ного уравнения $\Delta\varphi = 0$; было бы естественным считать это признаком того, что эта функция должна определяться из некоторого пространственного закона, чем устранялся бы произвол в выборе закона для сил. Собственно говоря, это первый результат, который мог бы навести на мысль об отходе от теории дальнодействия. Однако развитие в этом направлении, начатое Фарадеем, Максвеллом и Герцем, наступило лишь позже, под давлением опытных фактов.

Мне бы хотелось также указать на внутреннюю несимметрию теории, проявляющуюся в том обстоятельстве, что входящая в закон движения инертная масса входит и в выражение для сил тяготения, но не в выражения для других сил. Наконец, я бы хотел указать на то, что разделение энергии на две существенно различные части — кинетическую и потенциальную энергию — должно восприниматься как нечто неестественное; Герц считал это таким неудобством, что в своей последней работе даже попытался освободить механику от понятия потенциальной энергии (т. е. силы)...

Довольно об этом. Прости меня, Ньютон; ты нашел единственный путь, возможный в твоё время для человека величайшей научной творческой способности и силы мысли. Попытки, созданные тобой, и сейчас ещё остаются ведущими в нашем физическом мышлении, хотя мы теперь и знаем, что если мы будем стремиться к более глубокому пониманию взаимосвязей, то мы должны будем заменить эти понятия другими, стоящими дальше от сферы непосредственного опыта.

«И это некролог?» — может спросить удивленный читатель. По сути дела — да, хотелось бы мне ответить. Потому что главное в жизни человека моего склада заключается в том, *что* он думет и *как* он думает, а не в том, что он делает или испытывает. Значит, в некрологе можно в основном ограничиться сообщением тех мыслей, которые играли значительную роль в моих стремлениях. Теория производит тем большее впечатление, чем проще ее предпосылки, чем разнообразнее предметы, которые она связывает, и чем шире область ее применения. Отсюда глубокое впечатление, которое произвела на меня классическая термодинамика. Это единственная физическая теория общего содержания, относительно которой я убежден, что в рамках применимости ее основных понятий она никогда не будет опровергнута (к особому сведению принципиальных скептиков).

Самым увлекательным предметом во времена моего учения была теория Максвелла. Переход от сил дальнодействия к полям, как основным величинам, делал эту теорию революционной. То, что оптика нашла себе место в теории электромагнетизма, установившей связь между скоростью света и абсолютной электрической и магнитной системой мер, а также связавшей коэффициент преломления с диэлектрической постоянной и приведшей к качественному соотношению между коэффициентом отражения и металлической проводимостью тела, — все это было для меня как откровение.

Помимо перехода к теории поля, т. е. к выражению элементарных законов при помощи дифференциальных уравнений, Максвеллу понадобился всего один гипотетический шаг — введение электрического тока смещения в пустоте и в диэлектриках с его магнитным действием; это нововведение было почти что продиктовано свойствами самих дифференциальных уравнений. В этой связи я не могу удержаться, чтобы не отметить удивительное внутреннее сходство между сочетанием Фарадей — Максвелл и сочетанием Галилей — Ньютон. Первый в каждой паре интуитивно схватывал соотношения, а второй их точно формулировал и применял количественно.

Проникновение в сущность электромагнитной теории затруднялось в те времена следующим своеобразным обстоятельством. Электрические и магнитные «силы поля» рассматривались наравне со «смещениями» как первичные величины, а пустое пространство считалось частным случаем диэлектрика. Носителем поля считалась *материя* (вещество), а не *пространство*. А это подразумевало, что носитель поля обладает свойством иметь скорость, что, конечно, должно было быть справедливым и для «пустоты» (эфир). Электродинамика движущихся тел Герца всецело основана на этой принципиальной установке.

Большой заслугой Г. А. Лоренца было то, что он произвел здесь переворот, притом самым убедительным образом. Согласно Лоренцу, принципиально существует только поле в пустоте. Вещество, которое предполагается атомистичным, является единственным носителем зарядов; между материальными частицами находится пустое пространство — носитель электромагнитного поля, которое создается положением и скоростью точечных зарядов, сидящих на частицах. Диэлектрические свойства, проводимость и т. п., обусловлены исключительно характером механических связей между частицами, из которых состоят тела. Частицы-заряды создают поле, которое в свою очередь действует на заряды частиц. Соответствующие силы обуславливают движение частиц согласно законам Ньютона. Если сравнить это с системой Ньютона, то изменение заключается в следующем: силы дальнего действия заменяются полем, описывающим также и излучение. Тяготение большей частью в расчет не принимается вследствие его относительной малости; однако оно может быть учтено путем обобщения структуры поля и соответственного расширения максвелловских уравнений поля. Физик нынешнего поколения сочтет точку зрения Лоренца единственно возможной, а в то время это был поразительно смелый шаг, без которого дальнейшее развитие было бы невозможно.

Если посмотреть на эту фазу развития теории критически, то прежде всего бросается в глаза ее двойственность, состоящая в том, что материальная точка, в ньютоновом смысле, и поле как континуум употребляются рядом в качестве элементарных понятий. Кинетическая энергия и энергия поля представляются как принципиально разные вещи. Это кажется тем

более неудовлетворительным, что, согласно теории Максвелла, магнитное поле движущегося электрического заряда представляло инерцию. Почему же не *всю* инерцию? Тогда имелась бы только энергия поля, и частица была бы лишь областью особенно большой плотности этой энергии поля. Тогда можно было бы надеяться, что понятие материальной точки вместе с уравнениями движения частицы может быть выведено из уравнений поля — и мешающая двойственность была бы устранена.

Г. А. Лоренц это прекрасно понимал. Но уравнения Максвелла не позволяли установить условия равновесия электричества, составляющего одну частицу. Только другие нелинейные уравнения поля могли бы, может быть, это сделать. Однако еще не было метода, который бы позволил находить такие уравнения, не вдаваясь в самый авантюрный произвол. Во всяком случае, можно было надеяться найти новую, надежную основу для всей физики, продвигаясь шаг за шагом по пути, столь успешно намеченному Фарадеем и Максвеллом.

Таким образом, революцию, начатую введением поля, никак нельзя было считать оконченной. Случилось так, что на пороге двух веков независимо от этого переворота разразился еще один кризис основных понятий, важность которого внезапно дошла до сознания людей благодаря исследованиям Макса Планка о тепловом излучении (1900). История этого кризиса тем более замечательна, что на нее, по крайней мере в ее начальной стадии, не влияли никакие из ряда вон выходящие открытия экспериментального характера.

На основе термодинамических соображений Кирхгоф пришел к выводу, что плотность энергии и спектральный состав излучения, заключенного в полость с непрозрачными стенками температуры T , не зависит от природы этих стенок. Это означало, что плотность ρ монохроматического излучения есть универсальная функция частоты ν и абсолютной температуры T . Таким образом, возникла интересная задача определения этой функции $\rho(\nu, T)$. Что можно было получить теоретическим путем относительно этой функции? Согласно теории Максвелла, излучение должно оказывать на стенки давление, определяемое полной плотностью энергии. Отсюда Больцман вывел чисто термодинамическим путем, что общая плотность энергии излучения $(\int \rho d\nu)$ пропорциональна T^4 . Тем самым он нашел теоретическое обоснование для эмпирической закономерности, найденной уже ранее Стефаном, или, иначе говоря, он связал ее с основами теории Максвелла. После этого В. Вин при помощи остроумного термодинамического рассуждения, в котором также использовалась теория Максвелла, нашел, что универсальная функция ρ от двух переменных ν и T должна иметь вид

$$\rho \approx \nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right),$$

где $f(v/T)$ означает универсальную функцию единственной переменной v/T . Было ясно, что теоретическое определение этой универсальной функции f имеет фундаментальное значение — это и была та задача, которая стояла перед Планком. Тщательные измерения привели к довольно точному эмпирическому определению функции f . Сначала Планку удалось, опираясь на эти эмпирические измерения, найти для этой функции представление, довольно хорошо их передававшее, а именно:

$$\rho = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1},$$

где h и k — две универсальные постоянные; первая из них привела к теории квант. Эта формула выглядит благодаря своему знаменателю несколько странно. Допускает ли она теоретическое обоснование? Планк действительно нашел обоснование, несовершенства которого вначале были скрыты; это последнее обстоятельство было настоящим счастьем для развития физики. Если эта формула верна, то она позволяет с помощью теории Максвелла вычислить среднюю энергию E квазимонохроматического осциллятора, находящегося в поле излучения,

$$E = \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1}.$$

Планк предпочел попробовать теоретически вычислить эту последнюю величину. В этой попытке термодинамика уже не помогала, точно так же, как не помогала и теория Максвелла. Но одно свойство этой формулы сильно обнадеживало. А именно: для высоких значений температуры (при постоянном ν) формула давала выражение

$$E = kT.$$

Это — то же самое выражение, какое дает кинетическая теория газов для средней энергии материальной точки, способной совершать упругие колебания в одном измерении. Кинетическая теория дает

$$E = \frac{R}{N} T,$$

где R — газовая постоянная, а N — число молекул в грамм-молекуле; эта постоянная связана с абсолютной величиной атома. Если приравнять оба выражения, то получим

$$N = \frac{R}{k}.$$

Значит, одна из постоянных формулы Планка в точности дает истинную величину атома. Численное значение удовлетворительно совпадало с определениями N , правда не очень точными, сделанными на основе кинетической теории газов.

Это было большим успехом, что ясно сознавал Планк. Однако тут имеется и обратная сторона, довольно неприятная, которую, к счастью, Планк сразу не заметил. А именно: рассуждение требует, чтобы соотношение $E = kT$ было справедливо и для малых температур. Но тогда пропала бы и формула Планка и ее постоянная h . Правильный вывод из существующей теории был бы, следовательно, такой: или средняя кинетическая энергия осциллятора получается неверно из теории газов, что означало бы опровержение механики; или же средняя энергия осциллятора получается неверно из теории Максвелла, что означало бы опровержение этой последней. При этих обстоятельствах самым вероятным является то, что обе теории верны только в пределе, а в остальном неверны; так это и есть на самом деле, как мы увидим в дальнейшем. Если бы Планк пришел к этому выводу, то он, может быть, не сделал бы своего великого открытия, потому что в его рассуждениях исчезло бы самое основание.

Вернемся к рассуждению Планка. На основании кинетической теории газов Больцман нашел, что энтропия равна, с точностью до постоянного множителя, логарифму «вероятности» рассматриваемого состояния. Этим он выяснил сущность процессов, «необратимых» в смысле термодинамики. Напротив того, с молекулярно-механической точки зрения все процессы обратимы. Если назвать состояние, определенное в смысле молекулярной теории, состоянием микроскопическим или, короче, микросостоянием, а состояние, описанное термодинамически, — макросостоянием, то к каждому макроскопическому состоянию будет относиться великое множество (Z) микросостояний. Тогда Z является мерой вероятности данного макросостояния. Эта мысль представляется крайне важной еще и потому, что применимость ее не ограничивается микроскопическим описанием на основе механики. Это заметил Планк и применил принцип Больцмана к системе, состоящей из очень большого числа резонаторов с одинаковой частотой ν . Макроскопическое состояние задано полной энергией колебания всех резонаторов; макросостояние задано, если дана (для данного момента) энергия каждого отдельного резонатора. Для того чтобы число микросостояний, относящихся к одному макросостоянию, получилось конечным, Планк разделил полную энергию на большое, но конечное число одинаковых элементов энергии ϵ и задал вопрос: сколькими способами можно распределить между резонаторами эти элементы энергии? Логарифм этого числа дает тогда энтропию, а с нею (термодинамическим путем) и температуру системы. Планк получил свою формулу, взяв для элементов энергии ϵ величину $\epsilon = h\nu$. Решающим является здесь то обстоятельство, что ре-

зультат получается только, если брать для ε определенное конечное значение и, значит, не переходить к пределу $\varepsilon = 0$. Такая форма рассуждения затушевывает то, что оно противоречит механической и электродинамической основе, на которую опирается вывод во всем остальном. В действительности, однако, в этом выводе неявно предполагается, что отдельные резонаторы могут поглощать и испускать энергию только «квантами» величины $h\nu$. Это означает, что энергия механической колебательной системы, так же как и энергия излучения, может передаваться только такими квантами — наперекор законам механики и электродинамики. Здесь противоречие с динамикой было фундаментальным, тогда как противоречие с электродинамикой могло быть и не таким глубоким. А именно, выражение для плотности энергии излучения является *совместным* с уравнениями Максвелла, но оно не является необходимым следствием этих уравнений. Что это выражение правильно дает важные средние значения, явствует хотя бы из того, что основанные на нем законы Стефана — Больцмана и Вина согласуются с опытом.

Все это стало мне ясно уже вскоре после появления основной работы Планка, так что я, хотя и не имел замены для классической механики, все-таки мог видеть, к каким следствиям ведет этот закон теплового излучения как для фотоэлектрического эффекта и других родственных ему явлений, связанных с превращениями лучистой энергии, так и для теплосемкости тел, в частности твердых тел. Но все мои попытки приспособить теоретические основы физики к этим результатам потерпели полную неудачу. Это было так, точно из-под ног ушла земля и нигде не было видно твердой почвы, на которой можно было бы строить. Мне всегда казалось чудом, что этой колеблющейся и полной противоречий основы оказалось достаточно, чтобы позволить Бору — человеку с гениальной интуицией и тонким чутьем — найти главнейшие законы спектральных линий и электронных оболочек атомов, включая их значение для химии. Это кажется мне чудом и теперь. Это — наивысшая музыкальность в области мысли.

Мои личные интересы в эти годы были направлены не столько на отдельные следствия из результатов Планка, как бы важны они ни были; главным моим вопросом был следующий. Какие общие выводы позволяет сделать формула излучения относительно структуры излучения и вообще относительно электромагнитной основы физики? Прежде чем говорить об этом подробнее, я должен коротко упомянуть о некоторых исследованиях, относящихся к броуновскому движению и родственным ему предметам (явления флуктуации) и основанных главным образом на классической кинетической теории. Не будучи знакомым с появившимися ранее исследованиями Больцмана и Гиббса, которые по существу исчерпывают вопрос, я развил статистическую механику и основанную на ней молекулярно-кинетическую теорию термодинамики. При этом главной моей целью было

найти такие факты, которые возможно надежнее устанавливали бы существование атомов определенной конечной величины.

Не зная, что наблюдения над «броуновским движением» давно известны, я открыл, что атомистическая теория приводит к существованию доступного наблюдению движения взвешенных микроскопических частиц. Наиболее простой вывод основывался на следующих соображениях. Если молекулярно-кинетическая теория в принципе верна, то суспензия видимых частиц должна, подобно раствору молекул, обладать осмотическим давлением, подчиняющимся газовым законам. Это осмотическое давление зависит от истинных размеров молекул, т. е. от числа молекул в грамм-эквиваленте. Если плотность суспензии неравномерна, то имеющееся в силу этого пространственное непостоянство осмотического давления вызывает выравнивающее диффузионное движение, которое можно вычислить из известной подвижности частиц. С другой стороны, тот же диффузионный процесс можно рассматривать как результат беспорядочных смещений взвешенных частиц под действием теплового движения, причем величина смещений наперед неизвестна. Приравнивая значения диффузионного потока, полученные обоими путями, приходим к количественному выражению статистического закона для этих перемещений, т. е. к закону броуновского движения. Согласие этих выводов с опытом, а также сделанное Планком определение истинной величины молекулы из закона излучения (для высоких температур) убедило многочисленных тогда скептиков (Оствальд, Мах) в реальности атомов. Предубеждение этих ученых против атомной теории можно несомненно отнести за счет их позитивистской философской установки. Это — интересный пример того, как философские предубеждения мешают правильной интерпретации фактов даже ученым со смелым мышлением и с тонкой интуицией. Предрассудок, который сохранился и до сих пор, заключается в убеждении, будто факты сами по себе, без свободного теоретического построения, могут и должны привести к научному познанию. Такой самообман возможен только потому, что нелегко осознать, что и те понятия, которые благодаря проверке и длительному употреблению кажутся непосредственно связанными с эмпирическим материалом, на самом деле свободно выбраны.

Успех теории броуновского движения снова ясно показал, что классическая механика неизменно дает надежные результаты тогда, когда ее применяют к движениям, для которых можно пренебречь высшими производными от скорости по времени. На признании этого факта можно построить сравнительно прямой метод, позволяющий кое-что узнать из формулы Планка о структуре излучения. А именно: можно заключить следующее. Свободно двигающееся (перпендикулярно к своей плоскости) зеркало, отражающее квазимонохроматически, должно совершать в пространстве, наполненном излучением, нечто вроде броуновского движения со

средней кинетической энергией, равной $\frac{1}{2} (R/N) T$ (R есть константа уравнения состояния для одной грамм-молекулы, N — число молекул в грамм-молекуле, T — абсолютная температура). Если бы излучение не испытывало локальных флуктуаций, то зеркало постепенно остановилось бы, так как благодаря его движению от его передней стороны отражается больше излучения, чем от задней. Но зеркало должно подвергаться действию флуктуаций испытываемого им давления в силу того, что волновые пучки, составляющие излучение, интерферируют между собой; эти флуктуации могут быть вычислены из теории Максвелла. Такое вычисление показывает, однако, что этих флуктуаций давления недостаточно (особенно при малых плотностях излучения) для того, чтобы сообщить зеркалу среднюю кинетическую энергию $\frac{1}{2} (R/N) T$. Чтобы получить такое значение энергии, нужно принять, что существуют флуктуации давления другого рода, не вытекающие из теории Максвелла. Эти флуктуации соответствуют предположению, что энергия излучения состоит из неделимых квантов энергии $h\nu$ (с импульсами $h\nu/c$, где c — скорость света), обладающих точечной локализацией, причем эти кванты отражаются целиком, не раздробляясь. Приведенное рассуждение показало самым наглядным и прямым образом, что планковым квантам приходится приписывать своего рода непосредственную реальность; следовательно, в отношении энергии излучение должно обладать своего рода молекулярной структурой, что, конечно, противоречит теории Максвелла. Применяя к излучению другие рассуждения, основанные непосредственно на больцмановом соотношении между вероятностью и энтропией (причем вероятность приравняется статистической частоте во времени), можно прийти к тому же результату. Эта двойственная природа излучения (и материальных частиц) является фундаментальным свойством реальности, которое квантовая механика истолковала остроумным и поразительно успешным образом. Почти все современные физики считают это толкование в основном окончательным, мне же оно кажется лишь временным выходом; несколько замечаний об этом следует дальше.

Благодаря такого рода рассуждениям уже вскоре после 1900 г., т. е. вскоре после основополагающей работы Планка, мне стало ясно, что ни механика, ни термодинамика не могут претендовать на полную точность (за исключением предельных случаев). Постепенно я стал отчаиваться в возможности докопаться до истинных законов путем конструктивных обобщений известных фактов. Чем дольше и отчаяннее я старался, тем больше я приходил к заключению, что только открытие общего формального принципа может привести нас к надежным результатам. Образцом представлялась мне термодинамика. Там общий принцип был дан в предположении: законы природы таковы, что построить вечный двигатель (первого и второго рода) невозможно. Но как же найти общий принцип, подоб-

ный этому? Такой принцип я получил после десяти лет размышлений из парадокса, на который я натолкнулся уже в 16 лет. Парадокс заключается в следующем. Если бы я стал двигаться вслед за лучом света со скоростью c (скорость света в пустоте), то я должен был бы воспринимать такой луч света как покоящееся, переменное в пространстве электромагнитное поле. Но ничего подобного не существует; это видно как на основании опыта, так и из уравнений Максвелла. Интуитивно мне казалось ясным с самого начала, что с точки зрения такого наблюдателя все должно совершаться по тем же законам, как и для наблюдателя, неподвижного относительно Земли. В самом деле, как же первый наблюдатель может знать или установить, что он находится в состоянии быстрого равномерного движения?

Можно видеть, что в этом парадоксе уже содержится зародыш специальной теории относительности. Сейчас, конечно, всякий знает, что все попытки удовлетворительно разъяснить этот парадокс были обречены на неудачу до тех пор, пока аксиома об абсолютном характере времени и одновременности оставалась укоренившейся, хотя и неосознанной в нашем мышлении. Установить наличие этой аксиомы и признать ее произвольность в сущности уже означает решить проблему. Критическому мышлению, необходимому для того, чтобы нащупать эту центральную точку, сильно способствовало, в частности, чтение философских трудов Давида Юма и Эрнста Маха.

Необходимо было составить себе ясное представление о том, что означают в физике пространственные координаты и время некоторого события. Физическое толкование пространственных координат предполагало наличие жесткого тела отсчета (система отсчета), которое, к тому же, должно находиться в более или менее определенном состоянии движения (инерциальная система). При заданной инерциальной системе координаты означали результаты определенных измерений жесткими (неподвижными) стержнями. (Следует постоянно иметь в виду, что предположение о том, что жесткие стержни в принципе существуют, естественно напрашивается из повседневного опыта, но по существу является произвольным.) При таком толковании пространственных координат вопрос о справедливости евклидовой геометрии становится проблемой физической.

Для того чтобы аналогично толковать время некоторого события, необходимо средство для измерения промежутков времени (таковым является идущий детерминированным образом периодический процесс, осуществляемый системой достаточно малых пространственных размеров). Часы, закрепленные неподвижно относительно инерциальной системы, определяют местное время. Совокупность местных времен всех пространственных точек составляет «время», относящееся к выбранной инерциальной системе, если, кроме того, дан способ «сверить» все эти часы между собой.

Очевидно, что априори совсем не обязательно, чтобы определенные таким образом «времена» различных инерциальных систем совпадали между собой. Несовпадение давно было бы замечено, если бы свет не казался (благодаря большой величине c) средством для установления абсолютной одновременности — по крайней мере в практике повседневного опыта.

Предположения о (принципиальном) существовании (идеальных или совершенных) масштабов и часов не независимы друг от друга. В самом деле, если считать, что предположение о постоянстве скорости света в пустоте не приводит к противоречиям, то световой сигнал, отражающийся туда и обратно от зеркал на концах твердого стержня, представляет собой идеальные часы.

Упомянутый выше парадокс можно формулировать так. Согласно употребляемым в классической физике правилам преобразования пространственных координат и времени событий при переходе от одной инерциальной системы к другой, следующие ниже два положения: 1) постоянство скорости света, 2) независимость законов (значит, в частности, и закона постоянства скорости света) от выбора инерциальной системы (специальный принцип относительности) несовместны между собой (хотя каждое в отдельности подтверждается опытом).

В основе специальной теории относительности лежит признание того, что положения 1) и 2) между собой совместны, если для пересчета координат и времен событий применять правила преобразования нового рода («преобразование Лоренца»). При данном физическом толковании координат и времени это утверждение означает не просто условный шаг, но заключает в себе определенные гипотезы о действительном поведении движущихся масштабов и часов — гипотезы, которые могут быть подтверждены или же опровергнуты на опыте.

Общий принцип специальной теории относительности содержится в постулате: законы физики инвариантны относительно преобразований Лоренца (дающих переход от одной инерциальной системы к любой другой инерциальной системе). Это есть ограничительный принцип для законов природы, который можно сравнить с лежащим в основе термодинамики ограничительным принципом несуществования вечного двигателя.

Скажем сперва несколько слов об отношении теории к «четырёхмерному пространству». Весьма распространённой ошибкой является мнение, будто специальная теория относительности как бы открывала, или же вновь ввела, четырёхмерность физического многообразия (континуума). Конечно, это не так. Четырёхмерное многообразие пространства и времени лежит в основе также и классической механики. Только в четырёхмерном континууме классической физики «сечения», соответствующие постоянному значению времени, обладают абсолютной (т. е. не зависящей от выбора системы отсчета) реальностью. Тем самым четырёхмерный континуум естественно

распадается на трехмерный и на одномерный (время), так что четырехмерное рассмотрение не навязывается как *необходимое*. Специальная же теория относительности, наоборот, создает формальную зависимость между тем, как должны входить в законы природы пространственные координаты, с одной стороны, и временная координата, с другой.

Важный вклад Минковского в теорию состоит в следующем. До исследования Минковского для проверки инвариантности физического закона приходилось выполнять над ним преобразование Лоренца до конца. Минковскому же удалось ввести такой аппарат, что сама математическая форма закона уже обеспечивает его инвариантность относительно преобразований Лоренца. Создав четырехмерное тензорное исчисление, Минковский дал для четырехмерного пространства то, что дает обыкновенное векторное исчисление для трех пространственных измерений. Он также показал, что преобразование Лоренца является не чем иным, как поворотом координатной системы в четырехмерном пространстве (если не считать отличия в знаке, обусловленного особым характером времени).

Сделаем теперь критическое замечание о теории в том виде, как она охарактеризована выше. Можно заметить, что теория вводит (помимо четырехмерного пространства) два рода физических предметов, а именно: 1) масштабы и часы, 2) все остальное, например электромагнитное поле, материальную точку и т. д. Это в известном смысле нелогично; собственно говоря, теорию масштабов и часов следовало бы выводить из решений основных уравнений (учитывая, что эти предметы имеют атомную структуру и движутся), а не считать ее независимой от них. Обычный образ действия имеет, однако, свое оправдание, поскольку с самого начала ясна недостаточность принятых постулатов для обоснования теории масштабов и часов. Эти постулаты не настолько сильны, чтобы из них можно было вывести достаточно полные уравнения для физических процессов. Если вообще не отказываться от физического толкования координат (что само по себе было бы возможно), то лучше уж допустить такую непоследовательность, но с обязательством избавиться от нее на дальнейшей стадии развития теории. Однако этот грех нельзя узаконивать до такой степени, чтобы разрешать, например, пользоваться представлением о расстоянии, как о физической сущности особого рода, существенно отличной от других физических величин (сводить физику к геометрии и т. п.).

Выясним теперь, каковы те окончательно установленные истины, которыми физика обязана специальной теории относительности.

1) Одновременности отдаленных событий не существует; значит, нет и непосредственного дальнегодействия в смысле ньютоновой механики. Правда, по этой теории можно было бы ввести дальнегодействия, распространяющиеся со скоростью света, но это было бы совершенно искусственным; дело в том, что в теории такого рода не может быть разумного выра-

жения для принципа энергии. Представляется поэтому неизбежным описывать физическую реальность непрерывными функциями точки в пространстве. В силу этого материальная точка уже не может считаться основным понятием теории.

2) Закон сохранения импульса и закон сохранения энергии сливаются в один-единственный закон. Инертная масса замкнутой системы тождественна с ее энергией, так что масса перестает быть самостоятельным понятием.

Замечание. Скорость света c является одной из величин, входящих в физические уравнения в качестве «универсальной постоянной». Однако если взять за единицу времени вместо секунды то время, за которое свет проходит 1 см, то c больше не будет входить в уравнения. В этом смысле можно сказать, что постоянная c является лишь кажущейся универсальной постоянной.

Общеизвестно и всеми принято, что, кроме того, можно исключить из физики другие универсальные постоянные, если вместо грамма и сантиметра ввести подходящие «естественные» единицы (например, массу и радиус электрона).

Если представить себе это выполненным, то в основные уравнения физики будут входить только лишь «безразмерные» постоянные. Относительно этих последних мне бы хотелось высказать одно предложение, которое нельзя обосновать пока ни на чем другом, кроме веры в простоту и понятность природы. Предложение это — следующее: таких произвольных постоянных не существует. Иначе говоря, природа устроена так, что ее законы в большой мере определяются уже чисто логическими требованиями настолько, что в выражения этих законов входят только постоянные, допускающие теоретическое определение (т. е. такие постоянные, что их численных значений нельзя менять, не разрушая теории).

Специальная теория относительности обязана своим возникновением уравнениям Максвелла для электромагнитного поля. И обратно, только специальная теория относительности дает уравнениям Максвелла удовлетворительное формальное толкование. Уравнения Максвелла представляют собой простейшие инвариантные относительно преобразования Лоренца уравнения поля, которые только можно написать для кососимметричного тензора, связанного с векторным полем. Все это было бы хорошо, если бы мы не знали из квантовых явлений, что теория Максвелла не передает энергетических свойств излучения. Но для решения вопроса о том, как именно следует видоизменить теорию Максвелла (причем видоизменение должно быть естественным), специальная теория относительности не дает достаточных указаний. И на вопрос Маха «почему инерциальные системы физически выделены относительно других систем отсчета?» эта теория тоже не дает ответа.

Тот факт, что специальная теория относительности представляет лишь первый шаг в необходимом развитии, стал мне ясен лишь при попытке представить в рамках этой теории и тяготение. В классической механике, истолкованной в духе теории поля, потенциал тяготения представляется как *скалярное* поле (простейшая теоретическая возможность поля с одной единственной составляющей). Такая скалярная теория тяготения может быть легко сделана инвариантной по отношению к группе преобразований Лоренца. Итак, естественной представляется следующая программа: полное физическое поле состоит из скалярного поля (тяготение) и векторного поля (электромагнитное поле); дальнейшие открытия могли бы заставить ввести еще более сложные поля, но пока об этом можно было бы не беспокоиться.

Возможность реализации этой программы представлялась, однако, сомнительной с самого начала. Дело в том, что теория должна была соединять в себе следующие вещи:

1) из общих соображений частной теории относительности было ясно, что *инертная* масса физической системы при увеличении полной энергии (в частности, при увеличении кинетической энергии) должна возрастать;

2) из очень точных опытов (в особенности из опытов Этвеша с крутильными весами) было эмпирически известно с очень большой точностью, что *тяжелая* масса тела в точности равна его *инертной* массе.

Из (1) и (2) следовало, что вес системы зависит вполне определенным и известным образом от ее полной энергии. Если теория этого не давала или давала только с натяжкой, то ее надо было отбросить. Проще всего это условие можно выразить так: при падении системы в данном поле силы тяжести ускорение не зависит от природы падающей системы (а значит, в частности, и от содержащейся в ней энергии).

Однако выяснилось, что в рамках намеченной программы это элементарное положение вещей вообще не может быть учтено надлежащим образом, во всяком случае без натяжки. Это убедило меня в том, что в рамках специальной теории относительности нет места для удовлетворительной теории тяготения.

И вот мне пришло в голову: факт равенства инертной и весомой массы или, иначе, тот факт, что ускорение свободного падения не зависит от природы падающего вещества, допускает и иное выражение. Его можно выразить так: в поле тяготения (малой пространственной протяженности) все происходит так, как в пространстве без тяготения, если в нем вместо «инерциальной» системы отсчета ввести систему, ускоренную относительно нее.

Значит, если считать, что поведение тел в ускоренной системе отсчета обусловлено как бы «истинным» полем тяготения (а не только кажущимся), то эту систему отсчета можно считать «инерциальной» с тем же правом, как и первоначальную систему.

Если считать возможными любые гравитационные поля, простирающиеся сколь угодно далеко и не ограниченные предельными условиями, то понятие инерциальной системы становится бессодержательным. Понятие «ускорение по отношению к пространству», а с ним и принцип инерции теряют тогда всякий смысл, причем исчезает также парадокс Маха.

Таким образом, равенство инертной и тяжелой массы приводит вполне естественно к мысли о том, что основное требование специальной теории относительности (инвариантность законов по отношению к преобразованию Лоренца) слишком узко, т. е. что нужно постулировать инвариантность законов и относительно *нелинейных* преобразований координат в четырехмерном континууме.

Это произошло в 1908 г. Почему понадобилось еще 7 лет, чтобы построить общую теорию относительности? Главная причина заключается в следующем: не так легко освободиться от представления, что координаты имеют прямой метрический смысл. Переворот совершался примерно так.

Мы исходим из пустого пространства без поля, в том виде, как оно рассматривается — в инерциальной системе отсчета — в специальной теории относительности. Это есть простейший, физически возможный случай. Вообразим себе теперь инерциальную систему, введенную так, что она движется относительно инерциальной системы в одном направлении (в трехмерном смысле) с постоянным ускорением (соответственно определенным). По отношению к этой системе возникнет статическое параллельное поле тяготения. При этом систему отсчета можно взять жесткую с трехмерной евклидовой метрикой. Но в равноускоренной системе, в которой имеется статическое поле, часы *идут не так, как одинаково устроенные* часы в неподвижной системе. Из этого частного примера уже видно, что непосредственно метрическое значение координат теряется, если вообще допускать нелинейные преобразования координат. Но делать это *необходимо*, если стремиться к тому, чтобы равенство тяжелой и инертной массы было заложено уже в основах теории, и если стремиться преодолеть парадокс Маха относительно инерциальных систем.

Но раз приходится отказаться от того, чтобы придавать координатам непосредственный метрический смысл (разность координат равна измеряемой длине или промежутку времени), то нельзя уже обойтись без признания равноценности всех координатных систем, получаемых путем непрерывных преобразований.

Сообразно этому общая теория относительности исходит из следующего основного положения. Законы природы должны выражаться такими уравнениями, которые были бы ковариантны относительно группы непрерывных преобразований координат. Эта группа становится здесь, таким образом, на место группы преобразований Лоренца специальной теории относительности; эта последняя группа является подгруппой первой группы.

Само по себе это требование еще не может, конечно, служить достаточно определенной исходной точкой для вывода основных уравнений физики. Прежде всего, можно даже оспаривать, содержит ли это требование действительное ограничение для физических законов; в самом деле, если данный закон постулирован сперва только для некоторых координатных систем, то его всегда можно переформулировать так, чтобы новая формулировка имела уже общековариантный вид. Кроме того, с самого начала ясно, что существует бесчисленное множество уравнений поля, допускающих такую общековариантную формулировку. Выдающееся эвристическое значение общего принципа относительности состоит вот в чем: он приводит нас к отысканию тех систем уравнений, которые, будучи *общековариантными*, являются в то же время *наиболее простыми*; среди этих систем мы и должны искать уравнения поля, выражающие свойства физического пространства. Поля, получаемые одно из другого преобразованиями координат, отражают одну и ту же действительность.

Для искателя в этой области главным вопросом является следующий: какого математического характера будут величины (функции координат), через которые выражаются физические свойства пространства («структура»)? И уже потом: каким уравнениям удовлетворяют эти величины?

На эти вопросы мы сегодня отнюдь не можем еще ответить с уверенностью. Путь, по которому я пошел при первой формулировке общей теории относительности, может быть характеризован следующим образом. Если мы и не знаем, каковы те переменные (та структура поля), которыми следует описывать физическое пространство, то нам достоверно известен один частный случай: «свободное от поля» пространство специальной теории относительности. Такое пространство характеризуется тем, что в надлежаще выбранной системе координат относящееся к двум соседним точкам выражение

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - dx_4^2 \quad (1)$$

представляет измеримую величину (квадрат расстояния), следовательно, имеет реальный физический смысл. Отнесенная к произвольной системе эта величина выражается так:

$$ds^2 = g_{ik} dx_i dx_k, \quad (2)$$

где значки пробегает значения от 1 до 4. Величины g_{ik} образуют симметричный тензор. Если после выполнения преобразования над выражением (полем) (1) получаются g_{ik} с исчезающими первыми производными по координатам, то по отношению к этой системе координат существует как бы гравитационное поле (в смысле вышеизложенного рассуждения), а именно: гравитационное поле совсем частного вида. Благодаря римано-

вым исследованиям n -мерных метрических пространств это особое поле может быть инвариантно характеризовано следующим образом:

1) Риманов тензор кривизны R_{iklm} , образованный из коэффициентов метрики (2), равен нулю.

2) По отношению к инерциальной системе (в которой справедливо выражение (1)) траектория материальной точки есть прямая, а тем самым есть экстремаль (геодезическая). Последнее же утверждение представляет такую характеристику закона движения, которая опирается на выражение (2).

Общий закон физического пространства должен быть обобщением только что написанного закона. Тут я предположил, что имеются две ступени обобщения:

а) чистое поле тяготения,

б) общее поле (в котором встречаются и величины, каким-то образом соответствующие электромагнитному полю).

Случай а) характеризовался тем, что хотя поле все еще может быть представлено римановой метрикой (2) с соответствующим симметричным тензором, но при этом не существует представления вида (1) (кроме как в бесконечно малом). Это значит, что в случае а) тензор Римана не исчезает. Однако ясно, что в этом случае должны быть справедливы уравнения поля, выражающие закон, который представляет собой обобщение (ослабление) прежнего закона. Если потребовать, чтобы эти уравнения тоже были второго порядка и линейные во вторых производных, то этим условиям удовлетворяют только уравнения

$$0 = R_{kl} = g^{im} R_{iklm},$$

получаемые из предыдущих однократным свертыванием. Только эти уравнения и могли рассматриваться как уравнения поля в случае а). Далее, естественно считать, что и в случае а) геодезическая по-прежнему дает закон движения материальной точки.

Попытка найти представление для полного поля б) и получить для него уравнения казалась мне в то время бесперспективной и я на нее не отважился. Я предпочел установить для изображения всей физической реальности предварительные формальные рамки. Это было нужно для того, чтобы иметь возможность исследовать, хотя бы предварительно, пригодность основной идеи общей относительности. Происходило это так.

В теории Ньютона можно написать в качестве закона для поля тяготения уравнение

$$\Delta \varphi = 0$$

(где φ — потенциал тяготения), которое должно выполняться в таких местах, где плотность ρ материи равна нулю. В общем случае следовало

бы положить

$$\Delta\varphi = 4\pi k\rho \quad (\rho — \text{плотность массы})$$

(уравнение Пуассона). В релятивистской теории поля тяготения на место $\Delta\varphi$ становится R_{ik} . В правую часть мы должны тогда поставить вместо ρ тоже тензор. Так как мы из частной теории относительности знаем, что (инертная) масса равна энергии, то в правую часть надлежит поставить тензор плотности энергии, точнее, полной плотности энергии, поскольку она не принадлежит чистому полю тяготения. Мы приходим, таким образом, к уравнению поля

$$R_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}R = -\kappa T_{ik}.$$

Второй член в левой части добавлен из формальных соображений, а именно: левая часть написана так, что ее расходимость в смысле абсолютного дифференциального исчисления тождественно равна нулю. Правая часть включает в себя все то, что не может быть пока объединено в единой теории поля. Конечно, я ни одной минуты не сомневался в том, что такая формулировка есть только временный выход из положения, предпринятый с целью дать общему принципу относительности какое-то замкнутое выражение. Эта формулировка была ведь по существу не более чем теорией поля тяготения, несколько искусственно оторванного от единого поля еще неизвестной структуры.

В набросанной теории, помимо требования инвариантности уравнений по отношению к группе непрерывных преобразований координат, на безусловное (окончательное) значение может, пожалуй, претендовать только предельный случай чистого поля тяготения и связь этого поля с метрической структурой пространства. Поэтому мы сейчас будем говорить только об уравнениях чистого поля тяготения.

Своеобразием этих уравнений является, с одной стороны, их сложное строение, особенно их нелинейный характер по отношению к переменным поля и их производным, а с другой стороны, их единственность, т. е. та логическая необходимость, с которой группа преобразований определяет вид этих сложных уравнений. Если бы мы остановились на специальной теории относительности, т. е. на инвариантности относительно группы Лоренца, то уравнения поля $R_{ik} = 0$ остались бы инвариантными и в рамках этой более узкой группы. Но с точки зрения более узкой группы прежде всего не было бы никакого основания считать, что тяготение должно описываться такой сложной системой величин (структурой), какой является симметричный тензор g_{ik} . Если бы даже и можно было найти для этого достаточные причины, то оказалось бы, что существует несметное число уравнений поля, построенных из величин g_{ik} , которые все ковариантны относительно

преобразований Лоренца (но не относительно общей группы). Даже если бы случайно удалось из всех мыслимых законов, инвариантных в группе Лоренца, угадать как раз тот, которому принадлежит более широкая группа, то все-таки мы бы не достигли той ступени познания, какую дает нам общий принцип относительности. Ибо с точки зрения группы Лоренца два решения, связанные нелинейным преобразованием координат, должны были бы считаться физически различными, что неверно, так как с точки зрения общей группы они дают только два различных представления одного и того же поля.

Еще одно общее замечание о структуре поля и группе. Ясно, что, вообще говоря, теория представляется нам тем совершеннее, чем проще положенная в ее основу «структура» поля и чем шире та группа, относительно которой уравнения поля инвариантны. Но эти два требования, очевидно, вступают друг с другом в конфликт. Согласно специальной теории относительности (группа Лоренца), можно, например, написать ковариантное уравнение уже для простейшей мыслимой структуры (скалярное поле), тогда как в общей теории относительности (более широкая группа непрерывных преобразований координат) инвариантные уравнения поля существуют только для более сложной структуры, а именно: для симметричного тензора. В обоснование того, что в физике нужно требовать инвариантности относительно более широкой группы, мы привели *физические* доводы; с чисто математической точки зрения я не вижу необходимости приносить более простую структуру поля в жертву широте группы ².

Группа общей относительности впервые приводит к тому, что наиболее простой инвариантный закон уже не будет линейным и однородным в переменных поля и их производных. Это — обстоятельство фундаментальной важности, и вот по какой причине. Если уравнения поля линейны (и однородны), то сумма двух решений снова будет решением; это имеет место, например, для максвелловских уравнений поля в пустом пространстве. В такой (линейной) теории уравнений поля недостаточно для вывода закона взаимодействия между объектами, которые описываются (каждый в отдельности) решениями системы уравнений поля. Поэтому в прежних теориях необходимы были, наряду с уравнениями поля, особые уравнения, определяющие движение материальных объектов под действием поля. Правда, первоначально в релятивистской теории тяготения постулировался, наряду с законами для поля и независимо от него, также и закон движения (геодезическая). Но впоследствии выяснилось, что не нужно,

² Оставаться при более узкой группе и одновременно брать более сложную структуру поля (ту же, как в общей теории относительности) означает наивную непоследовательность. Грех остается грехом, хотя бы его совершали мужи, в остальном почтенные.

да и нельзя, вводить закон движения независимо, а что он неявно содержится в законе для поля тяготения.

Сущность этого, довольно сложного положения вещей можно представить себе более наглядно следующим образом. Одна-единственная неподвижная материальная точка изображается полем тяготения, которое, конечно, и регулярно везде, за исключением того места, где находится сама материальная точка; в этом месте поле имеет особенность. Если же путем интегрирования уравнений поля вычислить поле, соответствующее двум неподвижным материальным точкам, то оно будет иметь, помимо особенностей в материальных точках, также и особенную линию, соединяющую материальные точки между собой. Но можно задать движение материальных точек так, чтобы определяемое ими поле тяготения вне материальных точек нигде не имело особенностей. Это будут как раз те движения, которые в первом приближении описываются законами Ньютона. Таким образом, можно сказать: массы движутся так, что уравнения поля допускают решения, не имеющие особенностей в пространстве вне масс. Это свойство уравнений тяготения непосредственно связано с их нелинейностью, а она, в свою очередь, обусловлена более широкой группой преобразований.

Тут можно было бы, впрочем, высказать такое возражение. Если допускаются особенности в местах материальных точек, то какое тогда имеется оправдание для запрещения особенностей в остальном пространстве? Это возражение было бы оправдано в том случае, если бы уравнения тяготения могли рассматриваться как уравнения единого полного поля. При существующем же положении нам приходится говорить, что поле материальной частицы может рассматриваться как *чистое поле тяготения* с тем меньшим правом, чем ближе мы подходим к самой частице. Если бы мы имели уравнения для единого полного поля, то нужно было бы требовать, чтобы и самые частицы могли быть представлены как решения полных уравнений поля, *нигде* не имеющие особенностей. И только тогда общая теория относительности стала бы *замкнутой* теорией.

Прежде чем переходить к вопросу о завершении общей теории относительности, я должен высказаться о занимаемой мною позиции по отношению к той физической теории, которая из всех физических теорий нашего времени достигла наибольших успехов. Я имею в виду статистическую квантовую механику, которая приобрела стройную логическую форму около 25 лет тому назад (Шредингер, Гейзенберг, Дирак, Борн). Это единственная современная теория, дающая стройное объяснение тому, что мы знаем относительно квантового характера микромеханических процессов. Эта теория, с одной стороны, и теория относительности, с другой, обе в известном смысле считаются верными, хотя слияние этих теорий не удалось до сих пор, несмотря на все усилия. С этим, должно быть, и связано то, что среди современных физиков-теоретиков имеются совершенно раз-

личные мнения о том, как будет выглядеть теоретический фундамент будущей физики. Будет ли это теория поля? Будет ли это теория в основном статистическая? Я скажу здесь кратко о том, что я об этом думаю.

Физика есть стремление осознать сущее как нечто такое, что мыслится независимым от восприятия. В этом смысле говорят о «физически реальном». В доквантовой физике не было сомнений, как это следует понимать. В теории Ньютона реальность представлялась материальными точками в пространстве и во времени, в теории Максвелла — полем в пространстве и во времени. В квантовой механике это менее ясно. Если спросить: представляет ли функция ψ квантовой теории какое-то реальное положение вещей, реальное в том же смысле, как система материальных точек или электромагнитное поле, то люди медлят с простым ответом «да» или «нет». Почему? Функция ψ (в определенный момент времени) выражает следующее: какова вероятность того, что определенная физическая величина q (или p) окажется в определенном заданном интервале, если я буду ее измерять в момент t . Здесь вероятность должна рассматриваться как величина, доступная опытному определению, т. е. как величина безусловно «реальная». Определить ее я смогу, если я очень много раз буду создавать ту же самую функцию ψ и каждый раз буду измерять q . А как же обстоит дело с отдельным измерением q ? Обладала ли соответствующая индивидуальная система данным значением q уже до измерения? На этот вопрос в рамках теории нет определенного ответа, потому что ведь измерение есть процесс, означающий конечное внешнее вмешательство в систему; поэтому можно себе представить, что система получает определенное (а именно: измеренное) численное значение q (или p) только в результате самого измерения. Для дальнейшей дискуссии я воображу себе двух физиков A и B , которые придерживаются различных пониманий реального состояния, описываемого функцией ψ .

A . Отдельная система обладает (до измерения) определенным значением q (или p) для всех переменных системы; это и есть то значение, которое устанавливается при измерении этих переменных. Исходя из этого понимания, он объявит: функция ψ не есть исчерпывающее представление реального состояния системы; она выражает только то, что мы знаем о системе из прежних измерений.

B . Отдельная система не обладает (до измерения) определенным значением q (или p). Измеренное значение возникает только благодаря акту измерения с соответствующей этому значению вероятностью, получаемой из функции ψ . Исходя из этого понимания, он объявит (или по крайней мере имеет право объявить): функция ψ есть исчерпывающее представление реального состояния системы.

А теперь мы предложим вниманию обоих этих физиков следующий случай. Пусть имеется система, состоящая (в рассматриваемый момент t)

из двух подсистем S_1 и S_2 , которые в этот момент разделены пространственно и не взаимодействуют заметным образом в смысле классической физики. Пусть вся система полностью описывается в смысле квантовой механики известной волновой функцией, а именно: функцией ψ_{12} . Все квантисты согласны между собой в следующем. Если я произведу полное измерение над S_1 , то из результатов измерения и из ψ_{12} я получу вполне определенную волновую функцию ψ_2 системы S_2 . При этом характер ψ_2 зависит от того, *какого рода измерение* произведено над S_1 . И вот мне кажется, что можно говорить о реальном положении вещей в подсистеме S_2 . Об этом реальном положении вещей мы знаем наперед еще меньше, чем о системе, описанной волновой функцией. Но *одно* предположение представляется мне бесспорным. Реальное положение вещей (состояние) системы S_2 не зависит от того, что проделывают с пространственно отделенной от нее системой S_1 . Но в зависимости от того, какого рода измерение я произвожу над S_1 , я получаю для второй подсистемы разные ψ_2 ($\psi_2, \psi_2', \dots$). Реальное состояние S_2 должно быть, однако, независимым от того, что происходит в S_1 . Значит, для одного и того же реального состояния S_2 могут быть найдены разные функции ψ_2 (в зависимости от выбора измерения над S_1). [Такого вывода можно было бы избежать только одним из двух способов. Или надо предположить, что измерение над S_1 изменяет (телепатически) реальное состояние S_2 , или же надо отрицать, что вещи, пространственно отделенные друг от друга, вообще могут иметь независимые реальные состояния. То и другое представляется мне совершенно неприемлемым.]

И вот, если физики A и B сочтут это рассуждение верным, то B должен будет отказаться от признания того, что функция ψ является полным описанием реального положения вещей. Потому что в этом случае было бы невозможно, чтобы одному и тому же положению вещей в (S_2) соответствовали две различные волновые функции.

Тогда статистический характер современной теории являлся бы необходимым следствием неполноты описания систем в квантовой механике, и не было бы уже никакого основания считать, что в будущем физика должна будет основываться на статистике.

Мое мнение сводится к тому, что если принять за основу некоторые понятия, заимствованные главным образом из классической механики, то современная квантовая теория может считаться наилучшей формулировкой реальных соотношений. Однако я не думаю, что эта теория является подходящей исходной точкой для будущего развития. Это тот пункт, в котором мои ожидания расходятся с ожиданиями большинства современных физиков, которые убеждены в том, что существенные черты квантовых явлений (как бы скачкообразные и не детерминированные во времени изменения состояния системы, корпускулярные и в то же время волновые

свойства элементарных образований, несущих энергию) не могут быть учтены теорией, описывающей реальное состояние вещей непрерывными функциями координат, удовлетворяющими некоторым дифференциальным уравнениям. Они думают также, что таким путем нельзя будет истолковать атомную структуру вещества и излучения. Они ожидают, что системы дифференциальных уравнений, о которых может идти речь в такой теории, вообще не имеют решений регулярных (не имеющих особенностей) во всем четырехмерном пространстве. Но прежде всего они считают, что, видимо, скачкообразный характер элементарных процессов может быть отображен только теорией, являющейся по существу статистической; в такой теории скачкообразные изменения состояния систем должны учитываться путем *непрерывного* изменения вероятностей возможных состояний.

Все эти замечания кажутся мне довольно вескими. Но главный вопрос заключается, как мне кажется, в следующем.

Какое направление обещает успех при сегодняшнем состоянии теории? При выборе направления я склонен руководствоваться моим опытом построения теории тяготения. Уравнения этой теории подают, по моему мнению, большие надежды на получение чего-либо *точного*, чем все остальные уравнения физики. Возьмем для сравнения, например, уравнения Максвелла для пустого пространства. Они являются формулировкой, соответствующей наблюдениям над бесконечно слабыми электромагнитными полями. Это эмпирическое происхождение уже обуславливает их линейную форму; но мы уже указывали, что истинные законы не могут быть линейными. Линейные законы удовлетворяют в отношении решений принципу суперпозиции и, следовательно, ничего не говорят относительно взаимодействий элементарных образований. Истинные законы не могут быть линейными и не могут быть получены из линейных законов. Теория тяготения научила меня и другому: собрание эмпирических фактов, как бы обширно оно ни было, не может привести к установлению таких сложных уравнений. На опыте можно проверить теорию, но нет пути от опыта к построению теории. Уравнения такой степени сложности, как уравнения поля тяготения, могут быть найдены только путем нахождения логически простого математического условия, определяющего вполне или почти вполне вид этих уравнений. Но когда такие достаточно жесткие формальные условия уже установлены, то для построения теории требуется совсем немного фактических данных. В случае уравнений тяготения такими формальными условиями являются: наличие четырех измерений и предположение о том, что структура пространства определяется симметричным тензором. Эти условия вместе с требованием инвариантности относительно группы непрерывных преобразований определяют вид уравнений практически вполне однозначно.

Наша задача состоит в том, чтобы найти уравнения для полного поля. Искомая структура поля должна быть обобщением симметрического тензора. Группа не должна быть более узкой, чем группа непрерывных преобразований координат. Если теперь ввести более сложную структуру, то эта группа уже не будет так жестко определять уравнения, как в случае структуры, характеризуемой симметричным тензором. Поэтому прекраснее всего было бы, если бы удалось снова расширить группу, по аналогии с тем шагом, который привел от специальной теории относительности к общей. Я пробовал, в частности, привлечь сюда группу комплексных преобразований координат. Все такие попытки были безуспешны. Я отказался также и от явного или скрытого увеличения числа измерений пространства. Это направление было намечено Калуцой, и оно еще и сейчас имеет своих сторонников (в своем проективном варианте). Мы ограничиваемся четырехмерным пространством и группой непрерывных вещественных преобразований координат. После многих лет тщетных поисков я считаю логически наиболее удовлетворительным решение, набросок которого дается дальше.

Вместо симметричных g_{ik} ($g_{ik} = g_{ki}$) вводится несимметричный тензор g_{ik} . Эта величина составлена из симметричной части s_{ik} и из антисимметричной части a_{ik} , которая может быть вещественной или чисто мнимой. Мы имеем:

$$g_{ik} = s_{ik} + a_{ik}.$$

С точки зрения групповых свойств такое объединение s_{ik} и a_{ik} является искусственным, поскольку каждая из этих величин в отдельности имеет характер тензора. Однако оказывается, что эти g_{ik} (рассматриваемые как целое) играют в построении новой теории такую же роль, как симметричные g_{ik} в теории поля тяготения.

Это обобщение структуры пространства представляется естественным и с точки зрения наших физических познаний, потому что мы знаем, что электромагнитное поле связано с кососимметричным тензором.

Далее, для теории тяготения существенно, что из симметричных g_{ik} можно образовать скалярную плотность $\sqrt{|g_{ik}|}$, а также и контравариантный тензор g^{ik} согласно определению. $g_{ik}g^{il} = \delta_k^l$ (δ_k^l — тензор Кронекера). Образованные таким путем величины, а также тензорные плотности допускают совершенно аналогичное определение и для несимметричных g_{ik} .

Далее, в теории тяготения существенно, что для данного симметричного поля g_{ik} можно определить симметричное в нижних значках поле Γ_{ik}^l , геометрический смысл которого состоит в том, что оно определяет параллельный перенос вектора. Аналогично, для несимметричных g_{ik}

можно определить несимметричные Γ_{ik}^l по формуле

$$g_{ik, l} - g_{ik} \Gamma_{il}^s - g_{is} \Gamma_{lk}^s = 0. \quad (A)$$

Это соотношение совпадает с соответствующим соотношением для симметричных g с той только разницей, что здесь, конечно, нужно обращать внимание на положение нижних значков в величинах g и Γ .

Как и в вещественной теории, из Γ можно образовать кривизну R_{iklm} и из нее, путем свертывания, кривизну R_{kl} . Наконец, пользуясь некоторым вариационным принципом с соотношениями (A), можно найти совместные между собой уравнения поля:

$$g_s^{ik} = 0 \left[\text{где } g^{ik} = \frac{1}{2} (g^{ik} - g^{ki}) \sqrt{\|g_{ik}\|} \right], \quad (B_1)$$

$$\Gamma_{is}^s = 0 \left[\text{где } \Gamma_{is}^s = \frac{1}{2} (\Gamma_{is}^s - \Gamma_{si}^s) \right], \quad (B_2)$$

$$R_{kl} = 0, \quad (C_1)$$

$$S_{l, l, m} + R_{lm, l} + R_{ml, l} = 0. \quad (C_2)$$

При этом каждое из уравнений (B₁), (B₂) является следствием другого, если выполнено (A). Символ R_{kl} означает симметричную, а символ R_{kl} — антисимметричную часть величины R_{ik} .

В случае равенства нулю антисимметричной части g_{ik} эти формулы приводятся к (A) и (C₁). Это будет случай чистого поля тяготения.

Мне кажется, что эти формулы представляют собой наиболее естественное обобщение уравнений тяготения³. Проверка их физической пригодности — задача чрезвычайно трудная, потому что здесь приближения ничего не дадут. Вопрос в следующем. Какие существуют решения этих уравнений, не имеющие особенностей во всем пространстве?

Этот рассказ достиг своей цели, если он показал читателю, как связаны между собой усилия целой жизни и почему они привели к ожиданиям определенного рода.

Русский перевод работы под заглавием «Творческая автобиография» напечатан в журнале «Успехи физических наук», 1956, 59, 71; в сб. «Эйнштейн и современная физика». М., 1956, 27—71 и в сб. «Физика и реальность» (131—166). Отрывок из английского перевода этой работы был также опубликован в журнале «Science», 1951, CXIII, 82—84.

³ Если только вообще можно идти по пути исчерпывающего представления физической реальности на основе понятия континуума, то, по моему мнению, имеется довольно большая вероятность, что предложенная здесь теория подтвердится.

ЗАМЕЧАНИЯ К СТАТЬЯМ*

Прежде всего я должен заметить, что справиться со стоявшей передо мной задачей (я должен был высказать свое мнение о статьях, собранных в этом томе) было нелегко. Причина моих затруднений заключалась в том, что в этих статьях затрагивалось слишком много областей науки, которые при современном уровне наших знаний связаны между собой весьма слабо. Сначала я предпринял попытку рассмотреть каждую из статей в отдельности. Однако от такого подхода пришлось отказаться, ибо то, что при этом получалось, не было даже приблизительно сколько-нибудь однородным, и чтение подобного обзора вряд ли могло быть полезным или приятным. Поэтому в конце концов я решил расположить свои замечания, насколько это возможно, по темам.

Кроме того, после нескольких тщетных попыток я обнаружил, что склад мышления авторов некоторых статей настолько радикально отличается от моего собственного, что по поводу этих статей я не могу сказать ничего полезного. Сказанное отнюдь не следует понимать в том смысле, что эти статьи я расцениваю менее высоко, чем те, которые написаны с более близких мне позиций, ибо содержание первых, на мой взгляд, вполне разумно. Однако свои замечания я посвящаю именно последним статьям.

Сначала упомяну статьи Вольфганга Паули и Макса Борна. В этих статьях излагается содержание моих работ по общим вопросам квантовой теории и статистике в их внутренней взаимосвязи и дается оценка того вклада, который внесли эти работы в развитие физики за последние полвека. Крайне существенно, что эту оценку дают именно Паули и Борн,

* *Remarks concerning the essays brought together in this co-operative volume.* В кн.: «Albert Einstein philosopher-scientist». Ed. by P. A. Schillp. The library of the living philosophers, v. 7. Evanston, Illinois, 1949, 665—688. (2-е изд. вышло в 1951 г.; 3-е изд. — в 2-х томах — в 1959 г. Нью-Йорк. — *Ред.*). Немецкий текст см. «*Bemerkungen zu den in diesem Bände vereinigte Arbeiten*». В кн.: «Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher». Herausgegeben von Dr. P. A. Schillp. W. Kohlhammer Verlag. Stuttgart, 1955, 493—511.

ибо только тот, кто с успехом боролся за решение важнейших проблем своего века, может глубоко постичь существо этих проблем. Столь глубокое понимание обстановки будет недоступно историку, живущему в более поздние времена, ибо ему трудно будет отойти от концепций и взглядов, казущихся его поколению вполне установившимися и даже самоочевидными. Оба автора с осуждением относятся к тому, что я отвергаю основную идею современной статистической квантовой теории. Но я все же не верю, что такая фундаментальная концепция может служить надлежащей основой для всей физики в целом. Более подробно я остановлюсь на этом ниже.

Теперь я перехожу к, вероятно, наиболее интересному вопросу, рассмотрение которого становится совершенно необходимым в связи с развернутой аргументацией, приведенной моими глубокоуважаемыми коллегами Борном, Паули, Гайтлером, Бором и Маргенау¹. Все они твердо убеждены в том, что загадка двойственной природы всех частиц (их корпускулярные и волновые свойства) нашла в принципе свое окончательное решение в статистической квантовой теории. По их мнению, крупные успехи этой теории свидетельствуют о том, что теоретически полное описание некоторой системы может содержать лишь статистические утверждения относительно измеримых величин этой системы. По-видимому, все названные выше физики придерживаются того мнения, что соотношение неопределенностей Гейзенберга (правильность которого, на мой взгляд, с полным основанием считается окончательно доказанной) убедительно свидетельствует в пользу того, что все мыслимые разумные физические теории должны иметь именно тот статистический характер, о котором говорилось выше. Ниже я укажу причины, не позволяющие мне присоединиться к этому мнению, разделяемому почти всеми современными физиками-теоретиками. Я твердо убежден, что существенно статистический характер современной квантовой теории следует приписать исключительно тому, что эта теория оперирует с неполным описанием физических систем.

Вместе с тем у читателя не должно быть никаких сомнений относительно того, что я полностью признаю тот весьма значительный прогресс, который был достигнут теоретической физикой с помощью статистической квантовой теории. В области *механических* процессов, т. е. всюду, где взаимодействие различных структур и их частей можно с достаточной точностью рассматривать, постулируя существование потенциальной энергии взаимодействия между материальными точками, статистическая квантовая теория и поныне представляет собой замкнутую систему, правильно

¹ В. Паули. Вклад Эйнштейна в квантовую теорию. М. Борн. Статистические теории Эйнштейна. Г. Гайтлер. Отход от классического мышления в атомной физике. Н. Бор. Дискуссии с Эйнштейном по эпистемологическим проблемам в атомной физике. Г. Маргенау. Концепция реальности у Эйнштейна.

описывающую эмпирические соотношения между наблюдаемыми величинами и позволяющую теоретически предсказывать их значения. До сих пор эта теория является единственной теорией, логически удовлетворительно объединяющей дуальные (корпускулярные и волновые) свойства материи. Те (проверяемые) соотношения, которые содержатся в этой теории, являются *полными* в естественных пределах, определяемых соотношением неопределенностей. Формальные соотношения, содержащиеся в статистической квантовой теории, т. е. весь ее математический формализм, по-видимому, должны будут в будущем войти в форму логических выводов в любую разумную теорию.

Принципиально неудовлетворительным в этой теории, на мой взгляд, является ее отношение к тому, что я считаю высшей целью всей физики: полному описанию реального состояния произвольной системы (существующего, по предположению, независимо от акта наблюдения или существования наблюдателя). Если бы это рассуждение услышал склонный к позитивизму современный физик, она вызвала бы у него улыбку сожаления. Он бы сказал себе: «Здесь мы имеем дело с формулировкой в чистом виде некоего метафизического предрассудка, лишенного всякого содержания, преодоление которого было главным философским достижением физиков за последнюю четверть века. Воспринимал ли кто-нибудь «реальное состояние какой-нибудь физической системы»? Может ли вообще кто-нибудь утверждать, что он знает, что следует понимать под «реальным состоянием физической системы»? Как может разумный человек в наше время еще верить в то, что ему удастся отвергнуть наиболее существенную часть нашего знания с помощью такого бесплотного духа?» Терпение! Я отнюдь не считаю, что приведенная выше лаконичная формулировка может кого-нибудь убедить. Она должна была лишь указать ту точку зрения, вокруг которой будут свободно группироваться излагаемые ниже элементарные соображения. При этом я поступлю следующим образом: сначала на нескольких простых примерах я покажу то, что представляется мне существенным, а затем по возможности кратко остановлюсь на более общих идеях, относящихся к этому же кругу вопросов.

В качестве физической системы рассмотрим сначала какой-нибудь радиоактивный атом с определенным средним временем жизни. Можно считать, что этот атом практически точно локализован в некотором месте в какой-то системе отсчета. Радиоактивный процесс состоит в испускании некоторой (сравнительно легкой) частицы. Для простоты мы будем пренебрегать движением атома, получающегося в результате радиоактивного распада. Следуя Гамову, мы можем заменить такой атом некоторой областью, размеры которой по порядку величины совпадают с размерами атома, окруженной замкнутым потенциальным барьером. В момент вре-

мени $t = 0$ эта область содержит испускаемую частицу. Известно, что схематизированный таким образом радиоактивный процесс с точки зрения элементарной квантовой механики должен описываться Ψ -функцией, зависящей от трех пространственных координат. При $t = 0$ эта функция отлична от нуля только внутри области, но при $t > 0$ имеет отличные от нуля значения и во внешнем пространстве. Эта Ψ -функция позволяет найти вероятность того, что испускаемая частица в некоторый выбранный момент времени действительно находится в той или иной рассматриваемой части пространства (т. е. действительно обнаружена там путем измерения координат). С другой стороны, Ψ -функция не позволяет ничего утверждать относительно момента распада радиоактивного атома.

Поставим теперь вопрос: можно ли такое теоретическое описание считать полным описанием радиоактивного распада одного отдельно взятого атома? Правдоподобный ответ, который сразу же приходит в голову, отрицателен. Такой ответ следует прежде всего потому, что принято считать, будто отдельный атом распадается в некоторый, вполне определенный момент времени; однако такая определенность момента распада не следует из описания процесса распада с помощью Ψ -функции. Следовательно, если отдельно взятый атом распадается в определенный момент времени, то описание процесса его распада с помощью Ψ -функции следует считать неполным. В этом случае Ψ -функцию следует рассматривать как описание не отдельной системы, а некоторого идеального ансамбля таких систем. Но в этом случае приходится признать, что полное описание отдельной системы все же возможно, но его нельзя достичь, если пользоваться только понятиями статистической квантовой теории.

Теоретик, занимающийся квантовой механикой, возразит на это: «Приведенное выше рассуждение эквивалентно утверждению о том, что такая вещь, как вполне определенный момент распада отдельного атома (т. е. момент времени, существующий независимо от какого бы то ни было наблюдения), действительно существует. Но, с моей точки зрения, это утверждение не только произвольно, но на самом деле лишено всякого смысла. Утверждение о существовании определенного момента распада имеет смысл лишь при условии, если я в принципе могу эмпирически определить этот момент времени. Такое определение (в конечном счете сводящееся к попытке доказать наличие частицы вне силового барьера) связано с некоторым возмущением рассматриваемой нами системы, вследствие чего результат измерения не позволит нам вывести никаких заключений о состоянии невозмущенной системы. Таким образом, предположение о том, что радиоактивный атом претерпевает распад во вполне определенный момент времени, ни на чем не основано. Следовательно, не доказано, и то, что Ψ -функцию нельзя рассматривать как полное описание отдельной системы. Все трудности проистекают из того, что в качестве

«реального» постулируется нечто ненаблюдаемое». (Так ответил бы физик, стоящий на позициях квантовой механики.)

В аргументации подобного рода мне не нравится несостоятельная, на мой взгляд, основная позитивистская установка, которая, как мне кажется, совпадает с принципом Беркли «*esse est percipi*» («чувствую — значит существую»). «Сущее» всегда представляет собой некий продукт наших умозрительных построений и, следовательно, нечто, произвольно (в логическом смысле) созданное нами. Обоснование таких построений состоит не в том, что их выводят из данных нашего чувственного опыта. Такой вывод (в смысле логической выводимости) невозможен нигде и никогда, даже в области донаучного мышления. Обоснование таких построений, представляющих для нас «реальность», заключается лишь в том, насколько полно или неполно они позволяют нам понять данные чувственного опыта (смысл этого выражения из-за моего стремления к краткости придется оставить несколько туманным). В применении к конкретно выбранному нами примеру из этих рассуждений вытекает следующее.

Нельзя ставить вопрос так: «Существует ли вполне определенный момент времени распада отдельного атома?» Можно лишь спросить: «Разумно ли вводить существование определенного момента времени распада отдельного атома в наше теоретическое построение в целом?» Нельзя даже спрашивать, что *означает* это утверждение. Можно лишь задать вопрос о том, разумно ли такое утверждение или нет в рамках выбранной системы понятий, т. е. позволяет ли оно теоретически охватить эмпирические данные.

До тех пор, пока физик, стоящий на позициях квантовой механики, будет считать, что описание с помощью Ψ -функции относится к идеальному ансамблю систем, но никоим образом не к отдельной системе, он может спокойно считать, что распад радиоактивного атома происходит во вполне определенный момент времени. Но если он будет исходить из предположения о том, что принятое им описание с помощью Ψ -функции следует считать *полным* описанием отдельной системы, то от существования определенного момента распада ему придется отказаться. Он может с полным основанием указать на то, что определение момента распада для изолированной системы невозможно, поскольку это потребовало бы введения в систему таких возмущений, которыми нельзя было бы пренебречь при изучении ее состояния. Например, из утверждения о том, что распад уже произошел, нельзя было бы заключить, что распад произошел бы и в том случае, если бы таких возмущений системы не было.

Насколько мне известно, Э. Шредингер был первым, кто обратил внимание на несколько другой вариант этих рассуждений, в котором видна непригодность рассмотренной выше интерпретации. Вместо того чтобы рассматривать один изолированный радиоактивный атом (и процесс его

распада), рассматривают систему, в которой имеется какой-нибудь прибор для наблюдения за радиоактивным распадом, например счетчик Гейгера с механизмом автоматической регистрации. Предположим, что этот механизм состоит из бумажной ленты, протягиваемой часовым механизмом. При срабатывании счетчика на ленте делается отметка. Правда, с точки зрения квантовой механики вся эта система очень сложна, и размерность ее конфигурационного пространства очень велика, но в принципе нет возражений против того, чтобы рассматривать такую систему с точки зрения квантовой механики. И в этом случае теория также укажет для каждой конфигурации отвечающую ей вероятность для любого момента времени. Какую бы конфигурацию мы ни выбрали, на бумажной ленте ей должна соответствовать (самое большее) одна отметка, если только время наблюдения велико по сравнению со средним временем распада радиоактивного атома. Каждой конфигурации соответствует некоторое вполне определенное положение метки на бумажной ленте. Но поскольку теория дает лишь относительную вероятность мыслимых конфигураций, она точно так же дает лишь относительную вероятность различных положений метки на бумажной ленте, но отнюдь не указывает какое-то определенное положение этой метки.

В этих рассуждениях положение метки на ленте играет ту же роль, что и момент распада радиоактивного атома в приведенных выше рассуждениях. Причина, по которой мы стали рассматривать систему, снабженную регистрирующим механизмом, состоит в следующем. Положение метки на ленте регистрирующего механизма — это факт, целиком и полностью относящийся к сфере макроскопических понятий, в отличие от момента радиоактивного распада отдельного атома. Если мы примем, что квантово-механическое описание надлежит понимать как полное описание отдельно взятой системы, то нам придется признать, что положение метки на ленте никак не связано с самой системой и что наличие метки в том или ином месте существенно зависит от того, как проводилось наблюдение, зафиксированное на ленте. Разумеется, с чисто логической точки зрения такая интерпретация отнюдь не является абсурдной, и все же мало вероятно, чтобы кто-нибудь стал рассматривать ее всерьез. Всем ясно, что в сфере макроскопических явлений следует придерживаться программы реалистического описания их в пространстве и времени. Когда же речь идет о микроскопических явлениях, люди с большей готовностью склонны отказываться от этой программы или по крайней мере модифицировать ее.

Вся эта дискуссия понадобилась нам лишь для того, чтобы выяснить следующее. Пытаясь отстаивать тезис о том, что статистическая квантовая теория в принципе может давать полное описание отдельных физических систем, мы приходим к весьма неправдоподобным теоретическим

концепциям. С другой стороны, упомянутые выше трудности интерпретации теории исчезают, если квантово-теоретическое описание рассматривать как описание ансамблей систем.

К этому заключению меня привели соображения самого различного характера. Я убежден, что всякий, кто возьмет на себя труд добросовестно проследить за этими рассуждениями, будет вынужден в конце концов прийти именно к этой интерпретации квантово-теоретического описания (т. е. к интерпретации Ψ -функции как описания не отдельной системы, а ансамбля систем).

В общих чертах наше заключение сводится к следующему: в рамках статистической квантовой теории таких вещей, как полное описание отдельной системы, не существует. Более осторожно то же самое можно было бы сформулировать так. Пытаясь рассматривать квантово-теоретическое описание как полное описание отдельных систем, мы приходим к неестественной интерпретации теории. Если принять точку зрения, согласно которой такое описание относится к ансамблю систем, а не к отдельным системам, то необходимость в таких неестественных интерпретациях отпадает. В этом случае весь шум, поднятый для того, чтобы избежать «физической реальности», становится излишним. Существует, однако, простая психологическая причина, по которой эту почти очевидную интерпретацию до сих пор не принимали во внимание. Дело в том, что если статистическая квантовая теория не ставит перед собой задачи полного описания отдельной системы (и ее развития во времени), то такое описание, очевидно, приходится искать где-то еще. При этом с самого начала необходимо отдавать себе ясный отчет в том, что элементы полного описания не содержатся среди фундаментальных идей статистической квантовой теории. Отсюда следует, что эти идеи принципиально не могут служить основой всей теоретической физики в целом. В будущей физике (при условии, если попытки построить полное описание физической системы увенчаются успехом) статистическая квантовая теория будет занимать примерно такое же положение, какое занимает статистическая механика в рамках классической механики. Я твердо убежден, что развитие теоретической физики будет происходить именно так, но путь ее будет долгим и трудным.

Я мысленно представляю себе физика, занимающегося квантовой теорией, который, даже допуская, что квантово-теоретическое описание относится к ансамблям систем, а не к отдельным системам, тем не менее склонен думать, что особенности, присущие квантово-теоретическому описанию, в наиболее существенных чертах сохраняются и в будущем. Он мог бы рассуждать так: «Я допускаю, что квантово-теоретическое описание является неполным описанием отдельной системы. Я даже допускаю, что полное теоретическое описание принципиально возможно. Тем не менее я считаю, что беспредельность поисков такого полного описания доказана,

ибо законы природы таковы, что их адекватную и полную формулировку можно дать в рамках нашего неполного описания».

На это я могу ответить лишь следующее. Ваша точка зрения, если рассматривать ее как теоретически возможную, неуязвима. Все же мне кажется более естественным ожидать, что адекватная формулировка универсальных законов будет включать в себя все элементарные понятия, необходимые для полного описания. Кроме того, я не считаю достойным удивления тот факт, что, пользуясь неполным описанием, мы можем получать из него (в основном) одни лишь статистические утверждения. Если нам удастся продвинуться вперед на пути к полному описанию, то весьма вероятно, что законы, выражающие отношения между всеми элементарными понятиями, используемыми в таком описании, сами по себе не будут иметь ничего общего со статистикой.

Еще несколько общих замечаний относительно того, что представляют собой понятия. Существует подозрение, что понятие (например, понятие реальности) — это нечто метафизическое (и, в силу этого, его следует отвергнуть). Основным принципиальным различием, являющимся необходимой предпосылкой научного и донаучного мышления, является различие между «чувственными восприятиями» (и воспоминаниями о них), с одной стороны, и чистыми идеями — с другой. Чисто логического определения этого различия не существует (если не считать определений, основанных на использовании порочного круга, т. е. таких определений, в которых неявно используется сам определяемый объект). Точно так же нельзя считать, что это различие обусловлено существованием каких-то объективных данных, например таких, которые обуславливают различие между красным цветом и голубым. И все же такое различие необходимо, чтобы не впасть в солипсизм. Выход из создавшегося затруднения состоит в следующем: мы воспользуемся этим различием, несмотря на упреки в том, что поступая так, мы совершаем метафизический «первородный грех». Указанное различие мы рассматриваем как категорию, позволяющую нам лучше разобраться в мире непосредственных ощущений. Успех этого предприятия и является «смыслом» и обоснованием этого различия. Но это лишь первый шаг. Мы считаем, что чувственные восприятия обусловлены «объективным» и «субъективным» факторами. Различие между этими понятиями также не имеет логико-философского обоснования, но, отвергнув его, мы не сможем избежать солипсизма. Это различие также является предпосылкой любой разновидности физического мышления. В этом случае единственным обоснованием указанного различия также является его полезность. И в первом, и во втором случае мы сталкиваемся с «категориями», или схемами мышления, выбор которых в принципе находится всецело в наших руках. О пригодности этих категорий можно судить лишь по тому, насколько «понятной» делают они всю совокупность

идей и понятий, с которыми оперирует наше сознание. Упомянутый выше «объективный фактор» представляет собой совокупность таких идей и понятий, которые, по предположению, существуют независимо от нашего опыта, т. е. от чувственных восприятий. До тех пор, пока наше мышление не выходит за пределы сферы, ограниченной намеченной только что программой, мы мыслим физически. До тех пор, пока физическое мышление доказывает свою обоснованность в указанном выше смысле, позволяя мысленно охватить все данные чувственного опыта, мы считаем его «познанием реальности».

После сказанного «реальность» в физике следует считать своего рода программой. Ничто не заставляет нас придерживаться этой программы априори. По-видимому, никому не придет в голову отказываться от этой программы, если речь пойдет о «макроскопических» явлениях (положение метки на бумажной ленте «реально»). Но «макроскопический» и «микроскопический» аспекты настолько тесно переплетены между собой, что вряд ли стоит отказываться от этой программы и при рассмотрении одних лишь «микроскопических» явлений. Не вижу я повода для отказа от этой программы и в области наблюдаемых фактов квантовой теории, если, разумеется, не утверждать заранее, что описание природы с помощью статистической схемы квантовой механики является окончательным.

Защищаемая здесь точка зрения отличается от точки зрения Канта лишь тем, что мы не считаем «категории» неизменяемыми (обусловленными природой мышления), а считаем их свободными (в логическом смысле) соглашениями. Априорными они кажутся лишь потому, что мыслить, не прибегая к понятиям и категориям, было бы так же невозможно, как дышать в безвоздушном пространстве.

Из этих скупых замечаний видно, что я считаю неправильным, если теоретическое описание ставится в непосредственную зависимость от актов эмпирических наблюдений. Тенденцию к подобному подходу можно, например, усмотреть в принципе дополнительности Бора, точную формулировку которого я так и не смог получить, несмотря на все мои усилия. Я считаю, что наблюдения могут служить лишь особыми случаями, или составными частями, физического описания, когда нельзя указать никакого выделенного состояния, кроме состояния покоя.

Статьи Бора и Паули, о которых я уже упоминал выше, содержат историческую оценку моих работ по физической статистике и квантам и, кроме того, некое обвинение, высказанное самым дружеским тоном. Кратко его можно было бы сформулировать так: «Ярая приверженность классической теории». С моей стороны такое обвинение требует либо оправданий, либо признания своей вины. Сделать и то и другое весьма трудно, поскольку совершенно неясно, что имеется в виду под «классической теорией». Ньютонская теория заслуживает названия классической. Тем

не менее от нее пришлось отказаться после того, как Максвелл и Герц показали, что идею о силах, действующих на расстоянии, необходимо оставить и что нельзя обойтись без понятия непрерывных «полей». Вскоре представление о том, что непрерывные поля следует считать единственно приемлемыми основными понятиями, которые и должны быть положены в основу теории материальных частиц, победило. В наше время эта концепция стала, так сказать, «классической», но теория в собственном смысле этого слова (причем в принципе полная) выросла не из нее. Максвелловская теория электромагнитного поля оставалась незавершенной, ибо она была неспособна установить законы распределения плотности электрического заряда, без которых, разумеется, не могло быть такой вещи, как электромагнитное поле. Точно так же общая теория относительности впоследствии привела к созданию теории гравитационного поля, но не к теории масс, создающих это поле.

(В этих замечаниях предполагается само собой разумеющимся, что в теории поля не должно быть никаких сингулярностей, т. е. таких точек или областей пространства, в которых законы этой теории не были бы справедливы.)

Итак, на сегодня таких вещей, как классическая теория поля, строго говоря, не существует, и поэтому невозможно быть ее ярым приверженцем. Тем не менее теория поля существует как программа: «основными понятиями теории должны быть непрерывные функции, определенные в четырехмерном континууме». Меня с полным правом можно назвать непоколебимым сторонником этой программы. Более глубокая причина этого состоит в следующем. Занимаясь теорией гравитации, я увидел, что существование взаимодействия между различными структурами (локализованными объектами) является общим следствием нелинейности уравнений этой теории. Но любая попытка теоретического вывода нелинейных уравнений становится совершенно безнадежной (ибо число имеющихся здесь возможностей слишком велико), если не прибегать к общему принципу относительности (инвариантность относительно произвольных непрерывных преобразований координат). Однако в настоящее время, по-видимому, невозможно сформулировать этот принцип, если пытаться отойти от намеченной выше программы. Именно здесь то, что заставляет меня следовать ей, и от этого я отказаться не могу. В этом мое оправдание.

Свое оправдание мне все же придется ослабить следующим признанием. Если оставить в стороне квантовую структуру, то введение g_{ik} можно обосновать «операционалистским путем», указав на то, что вряд ли можно сомневаться в физической реальности элементарного светового конуса, принадлежащего некоторой точке. При этом неявно используется существование сколь угодно точного оптического сигнала. Если же принять во

внимание квантовые явления, то окажется, что такой сигнал содержит бесконечно большие частоты и энергии и, следовательно, приводит к полному разрушению наблюдаемого поля. Итак, если не ограничиваться «макроскопическими» явлениями, то такой способ физического обоснования причин, которым вводится g_{ik} , отпадает. Следовательно, применение формальных основ общей теории относительности к «макроскопическим» явлениям можно обосновывать лишь тем, что формально тензор g_{ik} является наиболее простой ковариантной структурой из числа рассматриваемых. Однако такая аргументация не имеет никакого веса в глазах тех, кто сомневается в том, что вообще следует настаивать на введении непрерывных полей. Честь и хвала подобным сомнениям, но где еще нам найти путь, ведущий хоть к каким-нибудь результатам?

Теперь я перехожу к вопросу об отношении теории относительности к философии. Сюда относится статья Рейхенбаха, которая логичностью своих выводов и точностью формулировок настоятельно требует хотя бы кратко го комментария. Ясно написанная статья Робертсона также представляет интерес, главным образом с общеполитической точки зрения, хотя она и ограничена более узкой темой («Теория относительности и геометрия»). На вопрос: «Считаете ли Вы истиной то, что утверждает Рейхенбах?» — я могу лишь ответить знаменитым вопросом Пилата: «А что такое истина?»

Рассмотрим прежде всего вопрос: «Можно ли проверить (или опровергнуть) на практике геометрию, рассматриваемую с точки зрения физики?» Рейхенбах вместе с Гельмгольцем отвечают: «Да, если эмпирически данные твердые тела реализуют понятия „расстояния“». Пуанкаре считает, что этого сделать нельзя, и поэтому его взгляды не встречают одобрения со стороны Рейхенбаха. Происходит следующий краткий разговор.

Пуанкаре. Эмпирически данные тела не являются абсолютно твердыми и, следовательно, не могут служить реализацией геометрических отрезков. Поэтому теоремы геометрии нельзя проверить на практике.

Рейхенбах. Я допускаю, что тел, которые могли бы сами по себе служить «реальным определением» отрезка, не существует. Тем не менее, такое реальное определение можно получить, приняв во внимание тепловое расширение, упругость, электро- и магнитоотрицательность и т. д. То, что это на самом деле возможно и не приводит к противоречиям, доказано классической физикой.

Пуанкаре. При построении улучшенного реального определения Вы воспользовались физическими законами, формулировка которых (в этом случае) предполагает евклидову геометрию. Следовательно, проверка, о которой Вы говорили, относится не только к геометрии, но и ко всей совокупности физических законов, лежащих в ее основе. Отсюда следует, что проверка одной лишь геометрии невозможна.

Но тогда почему бы мне не выбирать геометрию (например, эвклидову), руководствуясь исключительно соображениями собственного удобства, а остальные («физические» в обычном смысле) законы не подгонять к выбранной геометрии так, чтобы вся система в целом не противоречила опыту?

(Уважение, внушаемое автору этих строк превосходством Пуанкаре как мыслителя, и признание достоинств его литературного стиля не позволяют продолжать этот спор в том же духе. Поэтому далее вместо Пуанкаре будет фигурировать некий анонимный непозитивист.)

Рейхенбах. В высказанной концепции имеется нечто весьма привлекательное. С другой стороны, следует отметить, что признание объективного смысла длины и интерпретация разностей координат как расстояний не приводили ни к каким осложнениям (в дорелятивистской физике), если только речь не шла о тех явлениях, в которых существенную роль играют скорости, сравнимые со скоростью света. Разве этот удивительный факт не свидетельствует в пользу того, что мы и впредь можем с полным основанием оперировать понятием измерения длины так, будто такие вещи, как абсолютно твердые измерительные стержни, существуют (по крайней мере, можно попытаться поступать именно так)? Во всяком случае Эйнштейн *de facto* (а может быть и вообще) не смог бы построить общую теорию относительности, если бы не считал, что длина имеет объективный смысл.

Нельзя не отметить (и это также свидетельствует против точки зрения Пуанкаре), что в действительности существенно не то, что одна лишь геометрия устроена наиболее простым образом, а то, что наиболее простым образом устроена вся физика (и в том числе геометрия). Именно этим прежде всего объясняется тот факт, что в настоящее время мы должны отклонять как неприемлемое предложение о том, чтобы ограничить свои рассмотрения только эвклидовой геометрией.

Непозитивист. Если в силу изложенных выше обстоятельств Вы считаете понятие расстояния вполне законным, то как в таком случае обстоит дело с вашим основным принципом (имеет смысл = проверяемо на опыте)? Разве Вы не дошли до такого момента, когда Вам приходится считать, что геометрические понятия и теоремы не имеют смысла, и признавать имеющий смысл лишь законченную (хотя и не существующую еще в завершенном виде) теорию относительности? Разве Вы не должны считать, что с Вашей точки зрения отдельным понятиям и утверждениям физической теории вообще нельзя придать никакого «смысла», кроме того, что вся эта теория делает «более понятным» данные чувственного опыта? Вообще, для чего требовать обоснования отдельных понятий, входящих в какую-нибудь теорию, если они являются необходимыми лишь в рамках логической структуры теории, а сама теория в целом подтверждается?

Кроме того, мне кажется, что Вы не вполне оценили действительно выдающиеся философские достижения Канта. У Юма Кант узнал, что существуют понятия (например, понятие причинной связи), которые играют главную роль в нашем мышлении и тем не менее не могут быть выведены чисто логическим путем из эмпирических данных (факт, который признавали некоторые эмпирики, впоследствии, по-видимому, всегда забывавшие об этом). Что же служит обоснованием для использования таких понятий? Предположим, что ответ Канта гласит следующее: «Чтобы понятия эмпирические данные, необходимо мышление. Понятия и „категории“ необходимы, ибо являются неотделимыми элементами мышления». Если бы он удовлетворился таким ответом, то избежал бы скептицизма, и Вы не смогли бы его ни в чем упрекнуть. На самом же деле он был введен в заблуждение ошибочным мнением (во времена Канта трудно было избежать этого мнения), будто евклидова геометрия необходима для мышления и дает *достоверное* (т. е. не зависящее от чувственного опыта) знание относительно объектов «внешнего» воспринимаемого мира. Из этой ошибки, которую нетрудно понять, он сделал вывод о существовании синтетических априорных суждений, диктуемых одним лишь разумом и претендующих, следовательно, на абсолютную значимость. Думаю, что Ваши упреки направлены не столько в адрес самого Канта, сколько тем, кто и поныне разделяет ошибки «синтетического априорного суждения».

Я считаю, что трудно найти какую-нибудь другую тему, которая могла бы послужить лучшей основой для обсуждения на философском семинаре, чем эта краткая статья Рейхенбаха. (Лучше всего рассматривать ее вместе со статьей Робертсона².)

Сказанное имеет непосредственное отношение и к статье Бриджмена³; поэтому я лишь кратко остановлюсь на ней, не боясь, что меня могут понять неправильно. Для того, чтобы какую-нибудь логическую систему можно было считать *физической* теорией, необходимо потребовать, чтобы все ее утверждения можно было независимо интерпретировать и «операционалистски» «проверять». В действительности же еще ни одна теория не смогла удовлетворить этим требованиям, и им вообще невозможно удовлетворить. Для того чтобы какую-нибудь теорию можно было считать *физической* теорией, необходимо лишь, чтобы вытекающие из нее утверждения в принципе допускали эмпирическую проверку.

Эта формулировка пока что является совершенно неточной, ибо «опытная проверка» является свойством, относящимся не только к самому утверждению, о котором идет речь, но и к отношению входящих в это утверждение понятий к опыту. По-видимому, вряд ли есть необходимость

² Г. Робертсон. Геометрия как раздел физики.

³ П. Бриджмен. Теория Эйнштейна и операционная точка зрения.

вдаваться в обсуждение столь деликатной проблемы, ибо по этому вопросу не должно быть сколько-нибудь существенного расхождения во мнениях.

Статья Маргенау содержит несколько оригинальных замечаний, которые я должен рассматривать в отдельности.

К ее разделу 1. «Позиция Эйнштейна... несет в себе черты рационализма и крайнего эмпиризма». Это замечание вполне справедливо. Откуда берутся такие колебания? Логическая система понятий является физикой лишь постольку, поскольку ее понятия и суждения приведены в необходимое соответствие с миром чувственного опыта. Всякий, кто пытается создать такую систему, наталкивается на опасное препятствие в виде произвольного выбора основных понятий (*embarras de richesse*) (затруднение от избытка. — *Ред.*). Вот почему он пытается связать, насколько это возможно и нужно, непосредственно понятия с миром чувственного опыта. В этом случае его подход становится эмпирическим. Такой путь часто бывает плодотворным, но всегда остаются некоторые сомнения, поскольку конкретное понятие и отдельное суждение все же могут утверждать нечто, противоречащее эмпирическим данным лишь при условии, если это понятие и суждение рассматриваются в связи со всей системой в целом. Кроме того, создатель теории осознает, что логического пути от эмпирических данных к миру его понятий не существует. Тогда его подход становится более реалистическим, ибо он начинает сознавать логическую независимость построенной им системы. Опасность такого подхода кроется в том, что, пытаясь построить теорию, можно потерять всякий контакт с миром чувственного опыта. Колебания между этими двумя крайностями представляются мне неизбежными.

К ее разделу 2. Идеи Канта я воспринял не сразу. То действительно ценное, что наряду с совершенно очевидными ныне ошибками содержится в его учении, стало мне понятно лишь очень поздно. Сущность идей Канта можно было бы сформулировать так: «Реальность не дана нам, а задана (так же, как задают загадки)». Очевидно, это означает следующее: понять то, что происходит вне нас, можно с помощью построения понятий, значимость которых целиком основана на их подтверждении. Такое построение понятий (по определению) точно соответствует «действительности», и любой дальнейший вопрос о «природе действительности» является бессмысленным.

К ее разделу 4. Рассуждения этого раздела ничуть не убедили меня. Само собой разумеется, что каждая величина и каждое утверждение некоторой теории (в рамках этой теории) претендуют на «объективный смысл». Проблема возникает лишь тогда, когда мы пытаемся приписывать теории некие групповые свойства, т. е. когда мы предполагаем или постулируем, что одна и та же физическая ситуация допускает несколько

способов описания, каждый из которых в равной степени следует считать обоснованным. При этом отдельным (не исключаемым) величинам (например, x -компоненте скорости частицы или ее координате x) мы уже не можем приписать никакого объективного смысла. В этом случае, всегда имеющем место в физике, нам приходится ограничиваться приписыванием объективного смысла общим законам теории, т. е. приходится требовать, чтобы эти законы выполнялись для любого описания системы, в основу которого положены групповые свойства. Поэтому неверно, будто «объективность» предполагает групповые свойства. Наоборот, групповые свойства приводят к уточнению понятия объективности. С эвристической точки зрения введение в рассмотрение групповых свойств столь важно потому, что позволяет существенно ограничить разнообразие математически допустимых законов.

Далее следует утверждение о том, будто групповые свойства означают, что общие законы должны иметь форму дифференциальных уравнений. Этого я вообще не могу понять. Затем Маргенау утверждает, что законы выражаемые дифференциальными уравнениями (в особенности дифференциальными уравнениями с частными производными), являются наименее характерными. На чем он основывает свое утверждение? Если бы можно было доказать, что эти утверждения правильны, то это означало бы, что всякая попытка построить физику на основе дифференциальных уравнений совершенно безнадёжна. Однако нам еще многого не хватает, чтобы мы могли судить о том, обладают ли вообще дифференциальные уравнения, которые мы и должны изучить, решениями, которые всюду не имеют особенностей, и если да, то не будет ли этих решений слишком много.

Сделаю одно замечание по поводу обсуждения парадокса Эйнштейна — Подольского — Розена⁴. Мне кажется, что Маргенау, защищая «ортодоксальную» (эпитет «ортодоксальный» относится к тезису о том, что Ψ -функция исчерпывающим образом характеризует отдельную систему) позицию в квантовой теории, не затронул наиболее существенных моментов. Из всех теоретиков, стоящих на «ортодоксальной» позиции в квантовой теории, чья точка зрения мне известна, Нильс Бор занимает позицию, ближе всего отвечающую существу проблемы. В моем пересказе его рассуждения выглядят следующим образом.

Если подсистемы A и B образуют некоторую общую систему, описываемую своей Ψ -функцией (обозначим ее Ψ_{AB}), то нет никаких оснований для того, чтобы считать, будто каждая из подсистем A и B в отдельности существует (находится в реальном состоянии) независимо от другой *даже в том случае, если в рассматриваемый момент времени подсистемы пространственно разделены*. Поэтому утверждение о том, что в последнем слу-

⁴ Ср. статью 76, том III.— *Прим. ред.*

чае любое измерение, производимое над подсистемой A , не оказывает никакого (непосредственного) влияния на реальное состояние подсистемы B , в рамках квантовой теории ни на чем не основано и (как показывает парадокс) является неприемлемым.

При таком подходе становится ясно, что упоминавшийся выше парадокс вынуждает нас отказаться от одного из следующих двух утверждений:

- 1) описание с помощью Ψ -функции является *полным*;
- 2) реальные состояния пространственно разделенных объектов не зависят друг от друга.

С другой стороны, можно придерживаться утверждения (2), если считать, что Ψ -функция описывает (статистический) ансамбль систем и тем самым отвергнуть утверждение (1)]. Однако эта точка зрения выходит за рамки «ортодоксальной квантовой теории».

Еще одно замечание к разделу 7 статьи Маргенау. Характеризуя квантовую механику, он среди прочего произносит одну короткую фразу: «В классической механике это соответствует обычной динамике». Такое утверждение абсолютно правильно *cum grano salis*⁵, и именно эта *grano salis* является наиболее существенной для проблемы интерпретации.

Если речь идет о макроскопических телах (бильярдных шарах или звездах), то мы имеем дело с очень короткими волнами де Бройля, которые и определяют поведение центра тяжести таких тел. Именно этим объясняется, почему при рассмотрении макроскопических тел квантовомеханическое описание позволяет для разумного интервала времени с достаточной точностью определять не только положение тела, но и его импульс. Квантовая теория позволяет получать точные положения и импульсы тела в течение довольно большого промежутка времени, причем квазиточки, фигурирующие в квантовомеханическом описании, ведут себя так же, как материальные точки в классической механике. Однако теория показывает, что по истечении достаточно большого промежутка времени точечный характер Ψ -функции, описывающей поведение центра тяжести, полностью утрачивается, так что ни с какой квазилокализации центра тяжести после этого говорить уже нельзя. Для одной макроскопической материальной точки картина становится очень похожей на ту, которая наблюдается в случае одного свободного электрона.

Если теперь, в соответствии с ортодоксальной точкой зрения, я буду рассматривать Ψ -функцию как полное описание реального состояния для отдельного тела, то мне придется считать, что принципиально сколь угодно большая неточность в определении положения (макроскопического) тела носит *реальный* характер. Однако, с другой стороны, известно, что,

⁵ Буквально «с крупинкой соли» — с оговоркой. — *Прим. ред.*

освещая тело фонарем, находящимся в состоянии покоя относительно нашей системы координат, мы (макроскопически) точно определяем положение этого тела. Чтобы избежать противоречия, я должен предположить, что найденное нами точное положение тела определяется не только реальным состоянием тела, над которым производились наблюдения, но и актом его освещения. Мы снова сталкиваемся с парадоксом (подобно тому, как это было бы в рассмотренном выше примере с отметкой на бумажной ленте). Этот призрак исчезнет лишь в том случае, если мы откажемся от ортодоксальной точки зрения, согласно которой считается, что Ψ -функция дает полное описание отдельной системы.

Может показаться, что все эти рассуждения представляют собой излишнее ученую казуистику, не имеющую ничего общего с настоящей физикой. Однако именно от таких рассуждений зависит, в каком направлении следует искать понятия для построения основ физики будущего.

Наше обсуждение проблем, связанных с истолкованием квантовой теории, слишком затянулось. В заключение я воспроизведу разговор, который я имел с одним видным физиком-теоретиком.

Он: Я склонен верить в телепатию.

Я: По-видимому, она больше относится к физике, чем к психологии.

Он: Да.

В статьях Ленцена и Нортропа⁶ предпринята попытка систематически рассмотреть мои высказывания философского характера, сделанные по различным поводам. Из этих высказываний Ленцен тщательно и с тонким чувством меры воссоздает некую общую картину. Все, что говорится в этой статье, кажется мне правильным и убедительным. Те же высказывания послужили Нортропу отправной точкой для критического сравнения главных философских систем. Эту критику я считаю шедевром непредубежденного мышления и точного изложения, автор которого нигде не позволяет себе уклониться от самого существенного.

Замечательный характер имеет взаимосвязь, существующая между наукой и теорией познания. Они зависят друг от друга. Теория познания без соприкосновения с наукой вырождается в пустую схему. Наука без теории познания (насколько это вообще мыслимо) становится примитивной и путаной. Однако, если философу, занимающемуся поисками стройной системы, удастся разработать такую систему, он тотчас же начинает интерпретировать содержание науки в духе своей системы и отвергать все, что выходит за рамки этой системы. Ученый же не может позволить себе зайти столь далеко в своем стремлении к теоретико-познавательной систематике. Он с благодарностью принимает гносеологический анализ по-

⁶ В. Л е н ц е н. Эйнштейновская теория познания. Ф. Н о р т р о п. Эйнштейновская концепция науки.

пятий, но внешние условия, поставленные перед ним опытными фактами, не позволяют ему чрезмерно ограничивать себя принадлежностью к некоторой философской системе при построении понятий. Поэтому в глазах последовательно мыслящего философа он предстает как оппортунист, бросающийся из одной крайности в другую. Как человек, пытающийся описать мир, не зависящий от актов восприятия, он кажется *реалистом*. Как человек, считающий понятия и теории свободными (не выводимыми логическим путем из эмпирических данных) творениями человеческого разума, он кажется *идеалистом*. Как человек, считающий свои понятия и теории обоснованными *лишь* в той степени, в которой они позволяют логически интерпретировать соотношения между чувственными восприятиями, он является *позитивистом*. Он может показаться точно так же и *платонистом* и *пифагорейцем*, ибо он считает логическую простоту непреложным и эффективным средством своих исследований.

Все это очень ясно показано в статьях Ленцена и Нортропа.

Несколько замечаний по поводу статей Е. А. Милна, Г. Леметра и Л. Инфельда⁷ относительно космологической проблемы.

По поводу остроумных рассуждений Милна я могу лишь сказать, что нахожу их теоретическую основу слишком узкой. С моей точки зрения, в области космологии нельзя получить никаких хоть сколько-нибудь надежных результатов с помощью теории, если не пользоваться общим принципом относительности.

Что же касается приводимых Леметром аргументов в пользу так называемого «космологического члена» в уравнениях гравитации, то я должен заметить, что при нынешнем уровне наших знаний эти аргументы не кажутся мне достаточно убедительными.

Введение такого члена означает далеко идущий отказ от логической простоты теории, отказ, который, на мой взгляд, был бы неизбежным лишь в том случае, если бы не было причин сомневаться в существовании статической природе пространства. После открытия Хэбблом «расширения» звездной системы и после того, как Фридман показал, что из уравнений без космологического члена вытекает возможность существования средней (положительной) плотности материи в расширяющейся Вселенной, мне кажется, что с теоретической точки зрения введение такого члена в настоящее время необоснованно.

Ситуация усложняется тем, что полная продолжительность расширения пространства до настоящего времени, если исходить из уравнений, взятых в простейшем виде, оказывается меньше, чем можно было бы

⁷ Е. М и л н. Гравитация без общей относительности. Г. Л е м е т р. Космологическая постоянная. Л. И н ф е л ь д. Общая теория относительности и строение нашей Вселенной.

думать, если принять во внимание достаточно надежно установленный возраст земных минералов. Введение же «космологического члена» не дает никакого выхода из создавшегося затруднения. Это затруднение, возникающее из-за несоответствия между численным значением постоянной расширения Хаббла и измерениями возраста минералов, совершенно не связано с какой бы то ни было космологической теорией, если эффект Хаббла интерпретировать как эффект Доплера.

В конечном счете все зависит от вопроса, можно ли рассматривать спектральную линию как меру «собственного времени» ds ($ds^2 = g_{ik} dx_i dx_k$), если речь идет об областях космических размеров? Существует ли вообще в природе объект, который независимо от своего положения в четырехмерном пространстве может служить «естественным измерительным стержнем»? Утвердительный ответ на этот вопрос сделал *психологически* возможным создание общей теории относительности, однако логически это предположение не является необходимым. Для построения современной теории относительности существенно следующее.

1. Физические объекты описываются непрерывными функциями — параметрами поля, зависящими от четырех координат. Если топологическая связность не нарушается, то выбор этих координат произволен.

2. Перенные поля являются компонентами тензора. Среди этих тензоров имеется симметрический тензор g_{ik} для описания гравитационного поля.

3. Существуют физические объекты, которые (если рассматривать их макроскопически) служат мерой инварианта ds .

Если принять утверждения (1) и (2), то утверждение (3) будет правдоподобным, но не будет необходимым. Построение математической теории основано исключительно на предположениях (1) и (2).

Полной теории всей физики в целом, построенной в соответствии с предположениями (1) и (2), еще не существует. Если бы такая теория существовала, то необходимость в (3) отпала бы, ибо объекты, используемые в качестве измерительных средств, не могут самостоятельно существовать наряду с объектами, существование которых вытекает из уравнений поля. Однако при рассмотрении космологических проблем не следует ограничивать себя обязательно столь скептическим отношением, но не следует с самого начала закрывать на это глаза.

Эти соображения приводят меня к статье Карла Менгера⁸. Рассматривая квантовые явления, мы начинаем подозревать, что могут появиться сомнения в окончательной целесообразности программы, коротко характеризуемой предположениями (1) и (2). Можно усомниться только в предположении (2) и, таким образом, поставить вопрос о том, нельзя ли адек-

⁸ К. Менгер. Современная геометрия и теория относительности.

ватно сформулировать законы с помощью дифференциальных уравнений, не отбрасывая утверждения (1). Мне кажется (думаю, что мою точку зрения разделяет и д-р Менгер), что еще проще предпринять более радикальную попытку и отказаться от предположений (1) и (2). Если нет новых понятий, обладающих достаточной созидательной силой, приходится довольствоваться одними лишь сомнениями. К сожалению, так происходит и со мной. Я придерживаюсь представлений о непрерывном характере поля не потому, что исхожу из некоторого предрассудка, а потому, что не могу придумать ничего такого, что могло бы органически заменить эти представления. Каким образом следует сохранить наиболее существенные черты четырехмерности (хотя бы в некотором приближении), если отказаться от представлений о непрерывности?

Статья Л. Инфельда представляет собой превосходное введение в так называемую «космологическую проблему» теории относительности, в которой критически разобраны все существенные моменты. Статья написана доступно, и для ее понимания нет необходимости обращаться к другой литературе.

Макс фон Лауэ⁹ дал исторический обзор законов сохранения, имеющий, на мой взгляд, непреходящее значение. Думаю, что эту статью следовало бы издать в виде отдельной брошюры, чтобы сделать ее более доступной для студентов,

Статью Г. Дингла¹⁰ и даже те цели, которые ставил перед собой ее автор, мне не удалось понять полностью, хотя я и приложил к этому значительные усилия. Следует ли обобщить идею специальной теории относительности в том смысле, чтобы потребовать новые групповые свойства, не вытекающие из лоренц-инвариантности? Существуют ли эмпирические основания для введения таких постулатов или же их следует «вводить» лишь как попытку? На чем покоится уверенность в существовании таких групповых свойств?

Я считаю, что статья Курта Гёделя¹¹ представляет собой важный вклад в общую теорию относительности, в особенности в анализ понятия времени. Проблема, о которой идет речь, беспокоила меня еще во времена создания общей теории относительности, но решить ее мне так и не удалось. Если оставить в стороне отношение теории относительности к идеалистической философии и вообще к любой философской постановке проблем, то эту проблему можно было бы сформулировать следующим образом.

⁹ М. Л а у э. Инерция и энергия.

¹⁰ Г. Д и н г л. Научные и философские следствия специальной теории относительности.

¹¹ К. Г ё д е л ь. Замечание о связи между теорией относительности и идеалистической философией.

Если P — мировая точка, то ей соответствует «световой конус» ($ds^2 = 0$). Проведем через P «временноподобную» прямую и рассмотрим на ней близкие мировые точки B и A , разделенные мировой точкой P (см. рис. 1). Имеет ли смысл вводить на этой прямой ориентацию (указанную стрелкой) и утверждать, что B происходит до P , а A — после P ? Является ли то, что остается от временных связей между мировыми точками в теории относительности, асимметричным отношением, или же, с физической точки зрения, с тем же основанием можно было бы изменить направление стрелки на обратное и утверждать, что A происходит до P , а B — после P ?

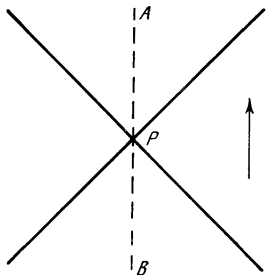


Рис. 1

На первый взгляд кажется, что от второй альтернативы следует отказаться. Мы можем рассуждать так. Если из B в A можно послать (протелеграфировать) сигнал (проходящий в непосредственной близости от мировой точки P), а из A в B послать сигнал нельзя, то тем самым будет установлен односторонний (т. е. асимметричный) характер направления времени, т. е. для направления стрелки не будет свободы выбора.

Здесь существенно, что посылка сигнала является *необратимым* (в смысле термодинамики) процессом, связанным с возрастанием энтропии (в то время как, согласно нашим современным представлениям, все элементарные процессы обратимы).

Следовательно, если B и A являются двумя достаточно близкими мировыми точками, которые можно соединить временноподобной линией, то высказывание « B происходит до A » имеет объективный физический смысл. Имеет ли это высказывание смысл в том случае, если точки, соединенные временноподобной линией, сколь угодно далеко удалены друг от друга? Разумеется, нет, если имеется набор точек, соединенных между собой временноподобными линиями так, что каждая мировая точка предшествует по времени предыдущей точке, и если вся цепочка точек замыкается. В этом случае различие между «раньше» и «позже» для мировых точек, удаленных друг от друга на космические расстояния, исчезает, и возникают те парадоксы, связанные с направлением причинной связи, о которых говорил Гёдель.

Гёдель нашел такие космологические решения уравнений гравитации (с отличной от нуля Λ). Было бы интересно выяснить, не следует ли такие решения исключать из рассмотрения на основе физических соображений.

* * *

С чувством разочарования я вижу, что, отвечая на критику, я высказывался не только длинно, но и излишне резко. Следующее замечание должно послужить извинением: ссориться можно только с братьями или близкими друзьями; все остальные для этого слишком чужие.

Настоящие замечания относятся к тем статьям, которые попали мне в руки до конца января 1949 г. Поскольку весь том должен был выйти из печати в марте 1949 г., времени на то, чтобы письменно изложить эти соображения, оставалось в обрез.

После того как работа была закончена, я узнал, что публикация тома на некоторое время откладывается. К этому времени пришло еще несколько важных статей. Несмотря на это, я решил не увеличивать и без того слишком большого объема своих заметок и воздержаться от высказывания своего мнения по поводу тех статей, которые были получены уже после написания этих заметок.

В конце 1949 г. вышел том серии «Живущие философы», посвященный 70-летию со дня рождения Эйнштейна. (Он должен был выйти в марте, но задержался.) В этом томе было помещено 25 статей о работах и взглядах Эйнштейна. Том открывается «Автобиографическими заметками» (статья 76) и закрывается статьей самого Эйнштейна, в которой он отвечает авторам 17 статей. К тому приложена подробная библиография трудов Эйнштейна, составленная Маргарет Шильдс (доведена во 2-м издании тома до 1951 г.). Из статей этого тома в русском переводе появились статьи Бора (в сб. Н. Б о р. «Атомная физика и человеческое познание») и статья Борна (в кн. М. Б о р н. «Физика в жизни моего поколения». М., 1963). Статья Паули будет помещена в собрании его научных трудов, издаваемых в серии «Классики науки». Статья Лауэ входит в сборник его избранных работ, выходящий в издательстве «Наука».

ФИЗИКА, ФИЛОСОФИЯ И НАУЧНЫЙ ПРОГРЕСС*

Думаю, что за прошедшие двадцать лет я в достаточной степени стал американцем, чтобы не слишком бояться врачей. В прошлом году мне даже представился случай на собственном опыте убедиться, насколько искусно врачи научились облегчать жребий, выпавший на долю их пациентов. Но чувство глубокого уважения, которое я испытываю к медикам, имеет еще одну причину. Специализация во всех отраслях человеческой деятельности, несомненно, привела к невиданным достижениям, правда, за счет сужения области, доступной отдельному индивидууму. Поэтому в наши дни бывает так трудно найти кого-нибудь, кто мог бы хорошо починить костюм или отремонтировать мебель, не говоря уже о часах. Не намного лучше обстоит дело и с профессиями, в том числе и с исследовательскими. Это известно каждому образованному человеку. В связи с возросшим уровнем знаний значительная специализация стала неизбежной и в медицине, но на этот раз специализация имеет естественные пределы. Если из строя вышла какая-то часть человеческого тела, то вылечить ее может только тот, кто отлично знает весь сложный организм в целом; в более же сложных случаях только такое лицо и сможет правильно понять причину заболевания. Поэтому для врача первостепенное значение имеет глубокое знание общих причинных зависимостей. Хирург же должен, кроме того, обладать еще двумя качествами: необычайной надежностью органов чувств и рук и редким присутствием духа. Если, после того как он вскрыл тело, обнаруживается какая-нибудь необычайная ситуация, то возникает необходимость быстро решить, что следует делать и чего следует избегать. В подобной ситуации требуется сильная личность. Именно это обстоятельство и вызывает у меня чувство глубокого уважения.

Представившаяся мне сегодня возможность обратиться к ученым, работающим в области, весьма далекой от моей собственной, естественно

* *Physics, Philosophy and Scientific Progress. Journal of the International College of Surgeons, 1950, XIV, 755—758.*

наводит на мысль затронуть теоретико-познавательные проблемы более общего характера, иначе говоря, вступить на тонкий лед философии.

Если под философией понимать поиски знания в его наиболее общей и наиболее широкой форме, то ее, очевидно, можно считать матерью всех научных исканий. Но верно и то, что различные отрасли науки, в свою очередь, оказывают сильное влияние на тех ученых, которые ими занимаются, и, кроме того, сильно воздействуют на философское мышление каждого поколения. С этой точки зрения бросим беглый взгляд на развитие физики за последние сто лет.

Еще со времен Возрождения физика пыталась найти общие законы, которые определяют поведение материальных тел во времени и в пространстве. Рассмотрение проблемы существования этих тел предоставлялось философии. Для физика же небесные тела так же, как и тела на Земле и их химические разновидности, просто *существовали* во времени и в пространстве как реальные объекты; его задача состояла лишь в том, чтобы путем гипотетических обобщений извлекать эти законы из данных опыта. Предполагалось, что законы верны во всех случаях без исключения. Закон считался неверным, если имелся хотя бы один случай, когда выведенные из этого закона следствия опровергались на опыте. Кроме того, законы реального внешнего мира считались полными в следующем смысле: если состояние объектов в некоторый момент времени полностью известно, то их состояние в любой момент времени полностью определяется законами природы. Именно это мы имеем в виду, когда говорим о «причинности». Приблизительно такими были границы физического мышления сто лет назад.

На самом деле эти основы были даже еще более узкими, чем мы указали. Считалось, что объекты внешнего мира состоят из неизменяемых материальных точек, взаимодействующих между собой. Силы, приложенные к этим точкам, известны, и под их действием материальные точки находятся в непрекращающемся движении, к которому, в конечном счете, можно было бы свести все наблюдаемые явления.

С философской точки зрения такая концепция мира тесно связана с наивным реализмом, поскольку приверженцы последнего считают, что объекты нашего мира даются нам непосредственно чувственным восприятием. Однако введение неизменяемых материальных точек означало шаг к более изощренному реализму, ибо с самого начала было ясно, что введение подобных атомистических элементов не основано на непосредственных наблюдениях.

С возникновением теории электромагнитного поля Фарадея — Максвелла стало неизбежным дальнейшее усовершенствование концепции реализма. Возникла необходимость приписывать электромагнитному полю, непрерывно распределенному в пространстве, ту же роль простейшей

реальности, какую раньше приписывали весомой материи. Разумеется, концепция поля не вытекала непосредственно из чувственного восприятия. Появилась даже тенденция представлять физическую реальность исключительно в виде непрерывного поля и не вводить в теорию материальные точки в качестве независимых сущностей.

Резюмируя, можно охарактеризовать границы физического мышления, которых придерживались еще четверть века назад, следующим образом.

Существует физическая реальность, не зависящая от познания и восприятия. Ее можно полностью постичь с помощью теоретического построения, описывающего явления в пространстве и времени; однако обоснованием такого построения является только его эмпирическое подтверждение. Законы природы — это математические законы, выражающие связь между элементами теоретического построения, допускающими математическое описание. Из этих законов следует строгая причинность в упоминавшемся уже смысле.

Под давлением огромного экспериментального материала почти все физики в настоящее время пришли к убеждению, что подобная идейная основа, хотя она и охватывает достаточно обширный круг явлений, нуждается в замене. Современные физики считают неудовлетворительным не только требование строгой причинности, но и постулат о реальности, не зависящей от какого-либо измерения или наблюдения.

Позвольте мне пояснить, что я имею в виду, на примере света. Пусть на отражающую прозрачную пластинку падает монохроматический луч света. Падающий луч распадается на прошедший и отраженный лучи. Ясно, что весь процесс можно точно и полно описать с помощью электромагнитного поля. Эта теоретическая интерпретация позволяет не только найти направление, интенсивность и поляризацию обоих лучей, но и с удивительной точностью описывает интерференционные явления, возникающие при наложении обоих лучей с помощью какого-нибудь устройства.

Однако было показано, что свет имеет атомистическую энергетическую структуру, или, как принято говорить, состоит из «фотонов». Если в теле, на которое падает один из наших лучей, происходит элементарный акт поглощения, то количество поглощенной энергии при этом не зависит от интенсивности света. Отсюда мы вынуждены сделать вывод о том, что это явление определяется одним, а не несколькими фотонами: и способность двух пучков интерферировать между собой, и поглощение света определяется *одним* фотоном.

Ясно, что максвелловская теория поля не может учесть этот комплекс свойств фотона. Не дает она нам никаких средств и для того, чтобы понять атомистический характер поглощения энергии излучения. Но если попытаться представить себе фотон в виде точечной структуры, движущейся в пространстве, то такой фотон должен либо пройти сквозь пла-

стинку, либо отразиться от нее, поскольку энергия его неделима. Эта интерпретация наталкивается на две трудности. Предположим, что фотон, прежде чем достичь пластинки, представляет собой простой физический объект, характеризующийся направлением, цветом и поляризацией. От чего будет зависеть в каждом отдельном случае, пройдет ли фотон через пластинку или же отразится от нее? Вряд ли можно найти достаточное основание для выбора одной из двух возможностей, и нелегко поверить, что такое основание вообще существует. Кроме того, представление о фотоне как о точечной структуре не позволяет объяснить интерференционные явления, возникающие только при взаимодействии *обоих* пучков.

Из столь затруднительного положения физики нашли следующий выход. Они сохранили волновое описание света, но волновое поле теперь уже означает не реальное поле, энергия которого распределена в пространстве, а всего лишь математическое построение, имеющее следующий физический смысл: интенсивность волнового поля в некоторой заданной области является мерой вероятности локализации фотона в ней. Только эту вероятность и можно измерить экспериментально, т. е. по поглощению света.

Оказалось, что, заменив поле в смысле первоначальной теории поля на поле распределения вероятности, мы получим метод, который выходит за рамки теории света и, при соответствующем изменении, приводит к наиболее полезной теории весомой материи. За необычайный успех этой теории пришлось платить двойной ценой: отказаться от требования причинности (ее никак нельзя проверить в атомной области) и оставить попытки описания реальных физических объектов в пространстве и времени. Вместо этого используется косвенное описание, с помощью которого можно вычислить вероятность результатов любого доступного нам измерения.

Таковы некоторые фундаментальные физические идеи, развитые в течение последнего столетия. Попытаемся понять, какое воздействие оказало развитие этих идей на биологов или, точнее, на их философскую позицию в отношении цели их исследований. Разумеется, физику здесь следует понимать в самом широком смысле; иначе говоря, она включает в себя все науки, занимающиеся изучением неорганической природы.

Напомним в этой связи плодотворное влияние понятий ньютоновской небесной механики на развитие физики. Ньютон показал, каким образом при надлежащем использовании понятий массы, ускорения и силы (последняя считается зависящей от расположения масс) можно понять движение планет. Эти понятия казались настолько естественными и даже необходимыми, что все с полной уверенностью видели в них ключ к пониманию всех процессов неорганической природы. Затем на основе этих понятий была построена механика сплошных сред, в рамках которой понятие силы было обобщено за счет включения в него напряжений.

Однако для завершения теории необходимо было ввести в нее тепловые понятия — температуры и количества тепла. Хотя вопрос о том, сводятся ли эти понятия к механическим или нет, в течение долгого времени оставался нерешенным, утвердительный ответ на него в конце концов был получен с развитием кинетической теории газов и, в более общем плане, статистической механики.

В то время как физика развивалась как младшая сестра небесной механики, биология развивалась как младшая сестра физики. Сто лет назад в умах естествоиспытателей вряд ли было хоть какое-нибудь сомнение в том, что механическая основа физики установлена навечно. Процессы в неорганической материи представлялись им в виде своеобразного часового механизма, все детали которого полностью известны, хотя сложность их взаимодействия не позволяет проводить детальный анализ. Не было никаких сомнений в том, что неустанные усилия экспериментаторов и теоретиков шаг за шагом приведут ко все возрастающему пониманию всех процессов. Поскольку фундаментальные законы физики казались надежно установленными, вряд ли можно было ожидать, чтобы они оказались неверными в органической области. Мне кажется, что для развития биологии были существенны не только средства и методы, в большинстве своем заимствованные из физических исследований, но и существовавшая в XIX в. твердая уверенность в надежности основ физики. Ибо никто не берет за предприятие подобного масштаба, не будучи уверенным в конечном успехе.

К счастью, в наши дни биологии уже не приходится обращаться к основам физики, чтобы обрести уверенность в возможности решения своих более глубоких проблем. К счастью, ибо в настоящее время мы знаем, что уверенность в механических основах покоилась на иллюзии, и старшая сестра биологии, несмотря на поразительные результаты в деталях, уже не считает себя постигшей сущность явлений природы. Это заметно хотя бы по тому, что она столь мучительно философствует о предмете своих исследований. Сто лет назад всякое философствование было бы с презрением отброшено.

Под впечатлением глубоких перемен в научном мышлении, происшедших со времен Галилея, невольно возникает вопрос: осталось ли вообще что-нибудь неизменным после всех этих перемен? Нетрудно указать некоторые существенные особенности научного мышления, которые сохранились со времен Галилея.

Во-первых, мышление само по себе никогда не приводит ни к каким знаниям о внешних объектах. Исходным пунктом всех исследований служит чувственное восприятие. Истинность теоретического мышления достигается исключительно за счет связи его со всей суммой данных чувственного опыта.

Во-вторых, все элементарные понятия допускают сведение к пространственно-временным понятиям. Только такие понятия фигурируют в «законах природы»; в этом смысле все научное мышление «геометрично». Истинность закона природы, по предположению, неограниченна. Закон природы неверен, коль скоро обнаружено, что одно из следствий из него противоречит хотя бы одному экспериментально установленному факту.

В-третьих, пространственно-временные законы *полны*. Это означает, что нет ни одного закона природы, который нельзя было бы свести к некоторому закону, сформулированному на языке пространственно-временных понятий. Из этого принципа вытекает, например, убежденность в том, что психические явления и связи между ними в конечном счете можно будет свести к физическим и химическим процессам, протекающим в нервной системе. Согласно этому принципу, в каузальной системе явлений природы нет нефизических элементов; в этом смысле в рамках научного мышления нет места ни для «свободы воли», ни для того, что называют «витализмом».

Еще одно замечание в этой связи. Хотя современная квантовая теория содержит несколько ослабленный вариант концепции причинности, все же она не открывает черного хода для приверженцев свободы воли, что видно уже из следующих соображений. Процессы, определяющие явления в неорганической природе, необратимы в смысле термодинамики и таковы, что полностью исключают статистический элемент, приписываемый молекулярным процессам.

Сохраним ли мы это кредо навсегда? Думаю, что на этот вопрос будет лучше всего ответить улыбкой.

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ ФИЛИППА ФРАНКА „ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ“ *

Наука занимается исследованием структурных отношений, которые, по предположению, существуют независимо от того, кто их исследует. Сюда относится и тот случай, когда объектом исследования служит сам человек. Объектом научного исследования могут быть и созданные нами абстрактные понятия, как это происходит, например, в математике. Нет необходимости предполагать, что между такими понятиями и объектами внешнего мира существует соответствие. Однако все научные утверждения и законы сходятся в одном: они «истинны» или «ложны» (т. е. адекватны или неадекватны). Грубо говоря, на вопросы о них мы можем отвечать «да» или «нет».

Но научный образ мышления характеризуется не только этим. Понятия, образующие его согласованную систему, не выражают эмоций. Для ученого существует только «бытие», но не желание, не добро и зло. Коротче говоря, ученый не ставит вопрос о цели. Если мы ограничиваемся рамками собственно науки, нам никогда не встретится фраза: «Не лги». Ученый, занимающийся поисками истины, связан чем-то вроде пуританского ограничения: он сторонится всего волюнтаристского и эмоционального. Между прочим, эта черта обусловлена медленным развитием науки, свойственным современной западной мысли.

Если исходить из этих соображений, то может показаться, что логическое мышление никак не связано с этикой. В самом деле, научная констатация фактов и соотношений не может диктовать этические нормы. Однако с помощью логического мышления и эмпирических знаний этические нормы можно сделать рациональными и непротиворечивыми. Если мы условимся считать некоторые этические утверждения фундаментальными, то остальные утверждения можно будет вывести из них, если исхо-

* *Foreword.* В кн.: Philip p Frank. *Relativity.*— A richer truth. Boston, Beacon Press, 1950. (Предисловие имеет подзаголовок: «Законы науки и законы этики.— *Ред.*.)

ные предпосылки сформулированы с достаточной точностью. Подобные этические предпосылки играют в этике такую же роль, какую в математике играют аксиомы.

Именно поэтому мы не чувствуем бессмысленности таких вопросов, как вопрос: «Почему мы не должны лгать?» Мы считаем такие вопросы осмысленными, ибо во всех обсуждениях такого рода мы молчаливо исходим из некоторых таких этических предпосылок. Мы чувствуем удовлетворение, когда нам удастся проследить рассматриваемые нами этические нормы вплоть до этих основных предпосылок. Что же касается вопроса о том, почему не следует лгать, то в этом случае подобный анализ выглядел бы так: ложь разрушает уверенность в высказываниях других людей. Без такой уверенности общественное сотрудничество становится невозможным или по крайней мере затруднительным. Но такое сотрудничество весьма существенно для того, чтобы сделать возможной и терпимой жизнь человека. Это означает, что правило «Не лги» прослежено вплоть до требования: «Человеческая жизнь должна быть сохранена» и «Боль и печаль следует по возможности ослабить».

Откуда же берут свое начало такие этические аксиомы? Произвольны ли они? Основаны ли они на одном лишь авторитете? Проистекают ли они из опыта людей? Не обусловлены ли они косвенно таким опытом?

Для чистой логики все аксиомы, в том числе и аксиомы этики, произвольны. Но с точки зрения психологии или своего происхождения они не являются произвольными. Они являются продуктом нашего врожденного стремления избежать боли и уничтожения, и представляют собой накопленный опыт эмоциональных реакций отдельных личностей на поведение их соседей.

Преимущество морального гения человека, выраженного творчески мыслящими личностями, и заключается в создании этических аксиом, непротиворечивых и так хорошо обоснованных, что люди считают их чем-то самоочевидным и ориентируются по ним в огромном потоке личных эмоций. Мы знаем, что между этическими аксиомами и научными аксиомами не существует особого различия. Истина — это то, что выдерживает проверку опытом.

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ КАРОЛЫ БАУМГАРДТ „ИОХАНН КЕПЛЕР. ЖИЗНЬ И ПИСЬМА“ *

Можно быть только благодарным г-же Баумгардт за то, что письма этого несравненного человека стали доступны тем, кто читает по-английски, в ее переводе. Письма охватывают период с 1596 по 1631 год. При отборе писем руководствовались, главным образом, необходимостью создать у читателя представление о Кеплере как человеке и личности; попыток же проследить предпосылки его научных достижений и необычайно важных следствий из них не делалось. Но читатель, знакомый с состоянием науки в то время, сможет почерпнуть из этих писем нечто ценное и в этом отношении.

В них мы имеем дело с человеком тонких чувств, всецело и страстно увлеченным поиском пути к более глубокому проникновению в сущность явлений природы, с человеком, который, несмотря на внутренние и внешние трудности, сумел достичь поставленной перед собой возвышенной цели. Жизнь Кеплера была посвящена решению двух задач. Солнце и планеты меняют свое видимое положение на фоне неподвижных звезд сложным образом; это изменение положения доступно непосредственному наблюдению. Поэтому то, что наблюдалось и тщательно регистрировалось, представляло собой данные не об истинном движении планет в пространстве, а об изменениях направления Земля — планета с течением времени. Поскольку Коперник убедил немногочисленную группу людей, способных его понять, что в этом процессе Солнце следует считать неподвижным, а планеты — в том числе и Землю — обращающимися вокруг Солнца, то первая великая задача, возникающая в связи с этим кругом вопросов, заключалась в определении истинных движений планет, в том числе Земли, в том виде, как оно представилось бы наблюдателю, находящемуся на ближайшей неподвижной звезде и имеющему в своем распоряжении совершенный стереоскопический телескоп. Такова была первая великая

* *Introduction. Carola Baumgardt. Johannes Kepler. Life and Letters. New York Philos. Library, 1951.*

задача Кеплера. Вторая задача сводилась к вопросу: каковы математические законы, которым подчиняются истинные движения планет? Ясно, что решение второй задачи, если бы она была под силу человеческому разуму, предполагало решение первой, ибо прежде чем приступить к проверке теории какого-то явления, необходимо сначала познать само явление.

В основе предложенного Кеплером решения первой задачи лежит поистине гениальная идея, позволившая определить истинный вид траектории Земли. Чтобы построить эту траекторию, необходима еще одна неподвижная точка в межпланетном пространстве, помимо Солнца. Имея такую точку, можно использовать ее и Солнце как опорные точки при измерении углов, т. е. найти истинный вид траектории Земли с помощью того же самого метода триангуляции, которым обычно пользуются при составлении карт. Но где найти вторую неподвижную точку, если все видимые объекты, за исключением Солнца, сами участвуют в каких-то неизвестных движениях? Ответ Кеплера гласил: «Мы с большой точностью знаем видимое (кажущееся) движение планеты Марс и время его обращения вокруг Солнца (марсианский «год»). Каждый раз по прошествии такого периода времени Марс должен оказываться в одном и том же месте (межпланетного) пространства. В эти моменты времени планета Марс будет представлять собой опорную точку в межпланетном пространстве, которую можно будет использовать в качестве неподвижной точки при триангуляции».

Пользуясь этим принципом, Кеплер прежде всего определил истинное движение Земли в межпланетном пространстве. Поскольку Землю также можно в любой момент времени использовать в качестве точки для триангуляции, он с помощью наблюдений сумел определить истинные движения других планет.

Тем самым Кеплер смог сформулировать три фундаментальных закона, которые навсегда останутся связанными с его именем. Сейчас, когда эти законы уже установлены, трудно себе представить, сколько изобретательности, воображения и неустанного, упорного труда потребовалось, чтобы установить эти законы и со столь огромной точностью выразить их.

Все это не следует забывать читателю, когда он увидит из писем, в обстановке каких лишений приходилось Кеплеру вести свою гигантскую работу. Ни бедность, ни непонимание современниками, довлевшее над всей его жизнью и работой, не смогли сломить его дух. Кроме того, надо учесть, что ему приходилось иметь дело с областью знания, непосредственно задевавшей сторонников религиозных догм. Но он принадлежал к числу тех немногих людей, которые не могут не высказывать открыто своих убеждений по любому вопросу. В то же время он не был одним из тех, кто получает инстинктивное удовлетворение от борьбы с другими, как это было, например, в случае Галилея, чей едкий сарказм и поныне доставляет

удовольствие образованному читателю. Кеплер был правове­рным протестантом и не делал секрета из того, что он согласен не со всеми установками церкви. Поэтому его считали своего рода умеренным еретиком и соответственно относились к нему.

Здесь будет уместно остановиться на тех внутренних трудностях, которые Кеплеру приходилось преодолевать и о которых я уже упоминал. Понять их не так легко, как трудности внешнего характера. Дело всей его жизни было, по-видимому, тем единственным делом, в котором ему удалось в значительной мере освободиться от тех интеллектуальных традиций, в обстановке которых он был рожден. Это были не только религиозные традиции, основанные на авторитете церкви, но и общие представления о природе, об ограниченных возможностях познания явлений в космосе и в человеческой жизни, а также идеи об относительной ценности мышления и опыта в науке.

Он должен был освобождаться от анимистической, телеологической манеры мышления в научном исследовании. Ему пришлось ясно осознать, что само по себе логико-математическое теоретизирование, каким бы ярким оно ни было, не гарантирует истины и что в естественных науках самая изящная логическая теория ничего не стоит без сравнения с наиболее точными экспериментами и наблюдениями. Без подобного философского подхода его труд был бы невозможен. Он не говорит об этом явно, но внутренняя борьба находит свое отражение в его письмах. Пусть читатель обратит внимание и на замечания по поводу астрологии. Они показывают, что внутренний враг, побежденный и обезоруженный, еще не совсем мертв и поныне.

Статья была написана как предисловие к неопубликованной книге «Письма Иоганна Кеплера». (Под ред. Д. Баумгардта, 1949 г.). Вариант этой статьи помещен в сб. «Out of My later Years», где он датирован 1949 г. Русский перевод этого более короткого варианта статьи помещен в сб. «Физика и реальность».

ПИСЬМО Г. СЭМЬЮЭЛУ *

Принстон, Нью-Джерси, США
13 октября 1950 г.

Уважаемый Герберт Сэмьюэл!

Ваша книга очень меня заинтересовала. Для меня она явилась еще одним подтверждением того факта, что в настоящее время философские воззрения оказывают огромное влияние на физические взгляды. Чтобы показать Вам это, я попытался кратко изложить свое мнение по вопросу о реальности и истине в физике и сравнить его с Вашим. Поскольку я не смог бы сформулировать все, что мне хотелось бы сказать, на английском языке, я сделал это на немецком...

Только что прочитал Вашу книгу. Особенно приятное впечатление на меня произвела независимость Ваших суждений, нашедшая свое выражение как в проводимой Вами критике, так и в высказываемых Вами предложениях. Вы требуете, чтобы физика занималась описанием того, что «физически реально», и утверждаете, что если физики попытаются при этом воспользоваться такими чисто фиктивными понятиями, как понятие числа, то они не смогут достичь той цели, которая перед ними поставлена. У Вас создалось впечатление, что современная физика основана на понятиях, в какой-то мере аналогичных «улыбке, которая остается, когда кот исчезает»¹.

В действительности же «реальное» отнюдь не дано нам непосредственно. Непосредственно нам даны только наши ощущения, причем материалом для науки служат лишь те из них, которые допускают однозначное словесное выражение. Существует только один путь от ощущений к «реальности» — путь мысленного (сознательного или бессознательного) истолкования, который, если рассматривать его в чисто логическом плане,

* *Letter from Dr. Albert Einstein.* In: H e r b e r t L. S a m u e l. *Essays in physics.* Harcourt, Brace and Company. New York, 1951, 135—145.

¹ Речь идет о Чеширском коте из «Алисы в стране чудес». — *Прим. ред.*

пролегает свободно и произвольно. Наиболее элементарное понятие повседневного мышления, относящееся к сфере «реального», — это понятие длительно существующего предмета, такого, как, например, стол в моей комнате. Стол как таковой мне не дан; мне дан лишь некий комплекс отдельных ощущений, которому я приписываю имя и понятие «стол». Это умозрительный метод, основанный на интуиции. На мой взгляд, понимание умозрительного характера такого понятия так же, как и всех других понятий, связанных с ощущениями, чрезвычайно важно, ибо позволяет правильно оценить те понятия, с помощью которых физика претендует на описание действительности. В противном случае нетрудно прийти к следующей мысли: «реальное» в повседневной жизни «действительно существует», однако некоторые физические понятия являются «чистыми идеями», отделенными от «реального» непроницаемой стеной. На самом же деле утверждение о «реальном», существующем независимо от моих ощущений, является результатом умозрительных построений. Оказывается, что в эти построения мы верим больше, чем в интерпретации, соответствующие отдельным нашим ощущениям. Отсюда и наша уверенность в правильности таких утверждений, как, например, следующего: «Деревья существовали задолго до того, как появилось существо, способное их воспринимать».

В этой связи можно было бы высказать такой парадокс: та реальность, которую мы знаем, состоит из одних лишь «призраков», порожденных нашим мозгом. Наша уверенность в правильности наших представлений о реальности основывается целиком на том факте, что наши понятия и связи между ними в какой-то мере «соответствуют» нашим ощущениям. «Истинность» наших утверждений основана только на этом. Так обстоит дело и в повседневной жизни, и в науке. Если же в современной физике это соответствие, или корреляция, между нашими понятиями и нашими ощущениями становится все менее и менее непосредственным, то не следует обвинять науку в том, что она заменяет реальность призраками. Критика такого рода была бы обоснованной лишь в том случае, если бы мы смогли показать, что понятия какой-то отдельно взятой теории нельзя удовлетворительным образом связать с данными нашего опыта.

Мы вольны сами выбирать, из каких элементов строить физическую реальность. Обоснование нашего выбора будет заключаться исключительно в том, каких успехов удастся при этом достигнуть.

Например, евклидова геометрия, если ее рассматривать как математическую систему, является лишь игрой пустых понятий (прямые, плоскости, точки, отрезки и т. д. — все это лишь «призраки»). Если же к этому добавить, что прямая заменяется твердым стержнем, то геометрия превратится в *физическую теорию*, и ее теоремы, например, теорема Пифагора, наполняются реальным содержанием. С другой стороны, столь простое соответствие между евклидовой геометрией и действительностью утрачи-

вает свою силу, если заметить, что те стержни, которые имеются в нашем распоряжении, на самом деле не являются «твердыми». Но означает ли это, что эвклидову геометрию следует считать всего лишь призраком? Нет, не означает, ибо существует более сложное соответствие между геометрическими теоремами и стержнями (вообще говоря, между геометрическими теоремами и внешним миром), которое учитывает упругость, тепловое расширение и т. д. Это соответствие снова наполняет геометрию физическим содержанием. Геометрия может быть истинной или ложной в зависимости от того, насколько верно она отражает проверяемые соотношения между данными нашего опыта.

Я слышу, как Вы возражаете: «Все это очень хорошо, но реальный мир существует независимо от того, имеется ли у нас теория этого мира или нет». Я считаю, что это утверждение не имеет никакого другого смысла, кроме следующего: «Я уверен, что существует удовлетворительная теория, основанная на допущении о фиктивных объектах, имеющих пространственно-временную протяженность, и тех закономерностях, которым подчиняются эти объекты». Эта уверенность глубоко сидит в нас, ибо именно она и является основой донаучного мышления. Наука принимает эту уверенность, но коренным образом преобразует ее, оставляя открытым вопрос о том, что представляют собой эти фиктивные объекты. В ньютоновской системе это были пространство, материальные точки и движение. Ньютон с полной ясностью сознавал, что в его системе пространство и время столь же реальны, как и материальные точки, ибо если не считать, что пространство и время реальны в той же степени, что и материальные объекты, то законы инерции и понятие ускорения утрачивают всякий смысл. «Ускорение» означает не что иное, как «ускорение относительно пространства».

Со времен Фарадея и Максвелла было установлено соглашение, согласно которому основным элементом, или кирпичиком, «реальности» следует вместо «массы» считать «поле». В самом деле, каким образом можно было бы свет, представляющий собой только «поле» и воспринимаемый, безусловно, как «реальность», свести к движущимся материальным точкам? В этом направлении предпринимались весьма энергичные, но безуспешные попытки, которые, в конце концов, пришлось оставить. Уверенность в том, что «покоящегося эфира» не существует, явившаяся следствием специальной теории относительности, была лишь последним шагом в переходе от «массы» к «полю» как элементарному физическому понятию, т. е. элементарному понятию, не сводимому к более простым, используемым в логической конструкции «реальности». Поэтому я думаю, что нет никаких оснований считать, будто бы «масса» представляет собой нечто «реальное», а поле — всего лишь «призрак». Это заблуждение, проистекающее из примитивного понимания понятия «реальности».

Программа теории поля обладает огромным преимуществом, заключающимся в том, что отдельное понятие пространства (обособленного от пространства-времени) становится излишним. В этой теории пространство — это не что иное, как четырехмерность поля, а не что-то существующее само по себе. В этом состоит одно из достижений общей теории относительности, ускользнувшее, насколько нам известно, от внимания физиков.

Что же касается тех, кто считает современную квантовую теорию принципиально завершенной областью знания, то на самом деле эти люди колеблются между двумя интерпретациями.

1. Физическая реальность существует, однако ее законы можно сформулировать лишь статистически.

2. Не существует вообще ничего такого, что бы соответствовало физической реальности. «Существуют» и могут наблюдаться только вероятности.

Мы оба сходимся в одном: мы с недоверием относимся к обеим этим интерпретациям и верим в возможность такой теории, которая могла бы дать полное описание реальности и законы которой устанавливали бы соотношения между самими явлениями, а не их вероятностями.

Однако я не считаю, что точку зрения современных физиков можно опровергнуть с *философских* позиций, ибо ее нельзя отвергнуть на том лишь основании, что логически она невозможна. Так мне подсказывает моя интуиция.

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ И. ХЭННАКА „ЭММАНУИЛ ЛАСКЕР“*

Эммануил Ласкер был несомненно одним из наиболее интересных людей, с которыми мне довелось познакомиться за последние годы. Мы должны быть благодарны тому, кто сделал биографию Ласкера доступной как для современников, так и для последующих поколений, ибо немного найдется таких людей, в ком редкая независимость личности сочеталась с живым интересом ко всем крупным проблемам человечества. Сам я не являюсь шахматистом и поэтому не могу по достоинству оценить мощь его интеллекта в той области, которой принадлежит его наивысшие интеллектуальные достижения — в области шахмат. Более того, я должен признаться, что лично мне борьба за власть и дух соревнования даже в виде высокоинтеллектуальной игры всегда были чужды.

Я встретился с Эммануилом Ласкером в доме моего старого друга Александра Мошковского и хорошо узнал его во время наших совместных прогулок, когда мы обменивались мнениями по самым различным вопросам. Этот обмен был несколько односторонним, причем я больше слушал, чем говорил, ибо для этого исключительно деятельного человека гораздо более естественно было высказывать собственные мысли, чем выслушивать чужие.

На меня личность Ласкера, несмотря на его в принципе жизнеутверждающий дух, произвела несколько трагическое впечатление. Чудовищное интеллектуальное напряжение, без которого нельзя стать шахматистом, так тесно переплелось в его сознании с шахматами, что дух этой игры никогда не покидал его, даже когда он размышлял над философскими или человеческими проблемами. Кроме того, мне казалось, что шахматы для него были скорее профессией, нежели целью жизни. Самого Ласкера влекло к научному познанию и его красоте, свойственной логическим пост-

* Geleitwort. J. H a n n a c k. Emanuel Lasker. Berlin, 1952.

роениям, красоте, из заколдованного круга которой еще не вышел никто из тех, кто хоть раз вступил в него. Шахматы в жизни Ласкера играли ту же роль, что и шлифование линз для материальной жизни и независимости Спинозы. Однако на долю Спинозы выпал более счастливый жребий, поскольку его профессия оставляла разум свободным и необремененным. Шахматы же накладывают на своих мастеров тесные путы, ограничивающие свободу их разума и в какой-то мере формирующие его, отчего сильнейшим образом должна страдать их внутренняя свобода и непосредственность. Это сильно ощущалось во время наших бесед и при чтении его философских книг. Из этих книг особенно заинтересовала меня «Философия несовершенного». Эта книга не только оригинальна, но и дает глубокое представление о личности самого Ласкера.

Теперь я должен сказать несколько слов в свое оправдание, поскольку никогда ни письменно, ни в устных беседах я не останавливался подробно на критических замечаниях Эммануила Ласкера по поводу теории относительности. Эти несколько слов я тем более должен сказать, что в данной биографии, написанной с чисто человеческих позиций, именно там, где речь идет об этих замечаниях, прорывается нечто вроде упрека. Острый аналитический ум Ласкера позволил ему сразу же ясно осознать, что краеугольным камнем всей проблемы служит постоянство скорости света (в пустоте). Он хорошо понимал, что если признать постоянство скорости света, то нельзя будет избежать релятивизации времени (не вызывавшей у него особых симпатий). Что же делать? Он пытался поступить так, как поступил Александр Македонский, прозванный летописцами «Великим» — разрубив гордиев узел. Ласкер пытался решить проблему, исходя из следующей идеи: «Никто не располагает непосредственными сведениями о том, с какой скоростью распространяется свет в абсолютно пустом пространстве, поскольку даже в межзвездном пространстве всегда имеется хотя бы минимальное количество материи, не говоря уже о пространстве, из которого материя была откачана человеком. Это хорошо известно. Кто же в таком случае может возражать против того, что в действительно пустом пространстве скорость распространения света должна быть бесконечно большой?» Ответить на этот вопрос можно было бы, например, так: «Совершенно справедливо, что никто непосредственно не проводил измерений скорости, с которой свет распространяется в абсолютно пустом пространстве. Но точно так же невозможно представить себе теорию, согласно которой минимальные следы материи оказывают существенное, но почти не зависящее от плотности материи влияние на скорость распространения света». До тех пор, пока такая теория (противоречащая известным оптическим явлениям) не создана, каждому физiku, по-видимому, предоставляется ожидать решения уже упоминавшейся проблемы с гордиевым узлом, если, разумеется, он не удовлетворен уже имеющимся

решением. Мораль: острый разум не может заменить ловких рук. Мне Ласкер импонировал непоколебимой самостоятельностью, столь редко встречающейся у той категории людей, к которой принадлежат почти все, в том числе и интеллигенты, входящие в класс попутчиков. Этим я и ограничусь.

Я рад за читателя, которому эта с любовью написанная биография поможет поближе познакомиться с сильной и в то же время тонкой и обаятельной личностью. Я благодарен этому беспокойному, независимому и скромному человеку за те часы бесед, которые он мне подарил.

Г. А. ЛОРЕНЦ КАК ТВОРЕЦ И ЧЕЛОВЕК *

В начале нашего столетия физики-теоретики всего мира с полным правом смотрели на Г. А. Лоренца как на своего наставника. Физики младшего поколения в большинстве случаев не представляют себе полностью той огромной роли, которую сыграл Лоренц в становлении идей теоретической физики. Причина этого странного непонимания коренится в том, что фундаментальные идеи Лоренца настолько вошли в плоть и кровь, что молодые ученые вряд ли способны осознать их смелость и вызванное ими упрощение основ физики.

Когда Г. А. Лоренц начинал свою творческую деятельность, электромагнитная теория Максвелла уже добилась признания. Но основы этой теории были исключительно сложными, и это не позволяло выявлять ее основные черты с достаточной ясностью. Правда, понятие поля отвергало представления о дальном действии, но электрическое и магнитное поля мыслились еще не как исходные сущности, а как состояния континуальной весомой материи. Вследствие этого электрическое поле казалось раздвоенным на поле вектора электрической напряженности и поле вектора диэлектрического смещения. В простейшем случае оба эти поля были связаны диэлектрической постоянной, но в принципе они считались независимыми и изучались как независимые реальности. Аналогично обстояло дело и с магнитным полем. В соответствии с этой основной концепцией пустое пространство рассматривалось как частный случай весомой материи, в котором отношение между напряженностью и смещением проявляется особенно просто. Из такого представления вытекало, в частности, что электрические и магнитные поля нужно было считать зависимыми от состояния движения материи, являющейся носителем этих полей.

Четкие понятия об этой господствовавшей тогда трактовке электродинамики Максвелла можно получить, изучив работу Генриха Герца по электродинамике движущихся тел.

* *H. A. Lorentz als Schöpfer und als Persönlichkeit. «Mein Weltbild», 1953. Zürich, 35—38.*

В такой обстановке началась плодотворная деятельность Г. А. Лоренца. Он с исключительной последовательностью ставил в основу своих исследований следующие гипотезы.

Носителем электромагнитного поля является пустое пространство. В нем существует лишь *один* вектор электрического поля и лишь *один* вектор магнитного поля. Это поле создается атомарными электрическими зарядами, которые, в свою очередь, испытывают пондеромоторное воздействие со стороны поля. Связь между электромагнитным полем и весомой материей существует лишь потому, что элементарные электрические заряды тесно связаны с атомными частицами, из которых состоит материя. Для последней справедливы законы Ньютона.

На упрощенном таким образом фундаменте Лоренц построил полную теорию всех известных тогда электромагнитных явлений, в том числе электродинамику движущихся тел. Его работа обладает последовательностью, ясностью и красотой, которые редко достигаются в экспериментальных науках. Единственное явление, которое не удалось объяснить этим путем полностью, т. е. без дополнительных допущений, был знаменитый опыт Майкельсона — Морли. Было бы бессмысленно считать, что этот опыт мог привести к специальной теории относительности без локализации электромагнитного поля в пустом пространстве. Существенным было то, что Лоренц пришел к уравнениям Максвелла в пустоте, или — как тогда говорили — в эфире.

Г. А. Лоренц нашел даже носящие его имя «преобразования Лоренца», не заметив, правда, что они обладают групповыми свойствами. Для него уравнения Максвелла в пустом пространстве были справедливы только в определенной системе координат, которая казалась преимущественной благодаря своей неподвижности относительно всех остальных систем координат. Это было поистине парадоксальное положение, потому что теория, казалось, ограничивает инерциальную систему сильнее, чем классическая механика. Это обстоятельство, которое с эмпирической точки зрения представлялось совершенно необоснованным, *должно было* привести к специальной теории относительности.

Так как благодаря предупредительности Лейденского университета я нередко подолгу бывал в этом городе, где жил у своего дорогого и незабвенного друга Пауля Эренфеста, мне часто представлялась возможность посещать лекции, которые Лоренц регулярно читал для небольшого круга молодых коллег уже после того, как оставил преподавание. Все, что исходило от этого возвышенного ума, было ясно и изящно, как прекрасное произведение искусства; создавалось впечатление, что все вытекает просто и легко. Ни у кого другого мне не приходилось испытывать такого чувства.

Если бы мы, принадлежащие к более молодому поколению, знали бы Лоренца только как человека возвышенного ума, и то наше восхищение

и уважение к нему были бы единодушными. Но этим далеко не исчерпывается то, что я чувствую, когда думаю о нем. Для меня лично он значил больше, чем все остальные люди, которых я встречал на своем жизненном пути.

Он легко и со спокойной уверенностью владел собой так же, как владел физикой и математическим аппаратом. Необычное отсутствие у него человеческих слабостей не действовало унижающе на близких. Каждый чувствовал его превосходство, но оно никого не подавляло, потому что он всегда проявлял доброжелательность ко всем, хотя хорошо знал людей, и человеческие отношения. Он был исключительно добросовестным, но не придавал какому-либо делу преувеличенного значения. От этого Лоренца предохранял тонкий юмор, который отражался и в его глазах, и в его улыбке. Этому соответствовало и то, что несмотря на всю преданность научному познанию, его все-таки пронизывало сознание невозможности до конца проникнуть в сущность вещей. Только в более зрелые годы я смог полностью оценить эту полускептическую, полупокорную точку зрения.

У меня не хватает слов, чтобы исчерпать тему этой небольшой статьи. Поэтому я хотел бы привести еще два кратких высказывания Лоренца, особенно сильно подействовавших на меня.

«Я счастлив, что принадлежу к нации¹, слишком маленькой для того, чтобы совершать большие глупости».

Человеку, который в беседе, происходившей во время первой мировой войны, пытался его убедить, что только жестокость и насилие вершат судьбы, он ответил: «Возможно, что Вы и правы, но в таком мире я не хотел бы жить».

Статья написана к 100-летию со дня рождения Лоренца. Русский перевод ее опубликован в сб. «Физика и реальность», английский перевод — в «Ideas and Opinions».

¹ Лоренц был голландцем. — *Прим. ред.*

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ ГАЛИЛЕЯ „ДИАЛОГ О ДВУХ ГЛАВНЫХ СИСТЕМАХ МИРА“ *

Галилеевский «Диалог о двух главных системах мира» служит неисчерпаемым источником сведений для каждого, кто интересуется историей западной культуры и ее влиянием на экономическое и политическое развитие.

Перед нами предстает человек незаурядной воли, ума и мужества, способный в качестве представителя рационального мышления выстоять против тех, кто, опираясь на невежество народа и праздность учителей в церковных облачениях и университетских мантиях, пытается упрочить и защитить свое положение. Необычайное литературное дарование позволяет ему обращаться к образованным людям своего времени на таком ясном и выразительном языке, что ему удается преодолеть антропоцентрическое и мифическое мышление своих современников и вновь вернуть им объективное и причинное восприятие космоса, утраченное с упадком греческой культуры.

Говоря так, я ясно вижу, что поддаюсь общей слабости тех, кто из чувства преданности склонен преувеличивать значительность своих героев. Очень может быть, что мышление в семнадцатом веке уже настолько исцелилось от паралича, вызванного господством жестких традиций во времена мрачного средневековья, что оковы отживших традиций мышления должны были пасть так или иначе — с Галилеем или без него.

Все же эти сомнения относятся только к частному случаю общей проблемы: в какой мере отдельные личности, наделенные случайными и неповторимыми качествами, могут влиять на ход истории? Как известно, наш век занимает более скептическую позицию по отношению к роли отдельной личности по сравнению с восемнадцатым и первой половиной девятнадцатого века. При сильно развитой специализации профессий и знаний личность становится «заменяемой», подобно заменяемой детали какой-нибудь машины серийного выпуска.

* *Foreword.* В кн.: Galileo Galilei. Dialogue concerning the Two Chief World Systems, Ptolemaic and Copernican. Berkeley, 1953.

К счастью, наша оценка «Диалога» как исторического документа не зависит от того, как мы относимся к столь рискованным вопросам. Прежде всего в «Диалоге» содержится крайне наглядное и убедительное изложение господствовавших в то время воззрений на структуру Вселенной в целом. Наивные представления о Земле как о плоском диске вместе со смутными идеями о заполненном звездами пространстве и движении небесных тел, господствовавшие во времена раннего средневековья, представляли собой лишь ухудшенный вариант гораздо более ранних идей древних греков, и в частности Аристотеля, и последовательной птолемеевской картины пространственного расположения небесных тел и их движения. Представление о мире, царившее во времена Галилея, сводилось к следующему.

Имеется пространство, а в нем некоторая избранная точка — центр Вселенной. Материя, по крайней мере, ее более плотная часть, стремится расположиться как можно ближе к этой точке. Поэтому материя принимает приближенно сферическую форму (Земля). В силу этого центр Земли практически совпадает с центром Вселенной. Солнце, Луна и звезды не могут приблизиться к центру Вселенной, ибо прикреплены к твердым (прозрачным) сферическим оболочкам, центры которых совпадают с центром Вселенной (пространства). Эти твердые сферические оболочки вращаются вокруг неподвижного земного шара (или центра Вселенной) с незначительно отличающимися друг от друга угловыми скоростями. Наименьший радиус имеет лунная сфера, внутри нее заключено все «земное». Внешние же оболочки с прикрепленными к ним небесными телами означают «небесные сферы». Небесные тела считаются вечными, неуничтожимыми и неизменными в отличие от «более низкой, земной сферы», содержащей в себе все преходящее, смертное и «греховное».

Разумеется, греческих астрономов, пользовавшихся для представления движений небесных тел абстрактными геометрическими построениями, усложнявшимися все более и более по мере увеличения точности астрономических наблюдений, нельзя упрекать за наивность описанной выше картины. Не имея в своем распоряжении теоретической механики, они пытались свести все сложные (наблюдаемые) движения к движению, которое они считали наиболее простым: равномерному движению по окружности. Приверженность идее кругового движения как движения наиболее естественного можно еще отчетливо проследить у Галилея. Вероятно, именно этим объясняется тот факт, что он не полностью осознал закон инерции и всю его важность.

Таковы вкратце идеи древних греков, кое-как приспособленные к варварскому, примитивному уровню развития европейцев того времени. Не будучи причинными, эллинистические идеи все же были объективны и свободны от анимистических воззрений. Разумеется, эту заслугу за аристотелевой космологией можно признавать лишь условно.

Выступая в защиту учения Коперника и ведя борьбу за нее, Галилей руководствовался не только стремлением упростить представление о движении небесных тел. Его цель состояла в том, чтобы с помощью беспристрастного и напряженного поиска достичь более глубокого и более последовательного понимания физических и астрономических фактов, которое бы заменило прогнившую и ставшую бесплодной систему идей.

Форма диалога, избранная им в его книге, отчасти объясняется блестящим примером Платона. Она позволила Галилею проявить свой выдающийся литературный талант и ярко и наглядно противопоставить различные мнения. Кроме того, он хотел по возможности избежать прямых высказываний по столь спорным вопросам, ибо это лишь дало бы инквизиции возможность уничтожить автора таких высказываний. В самом деле, Галилею было запрещено выступать в защиту коперниканского учения. «Диалог» же, помимо своего революционного фактического содержания, представляет собой попытку соблюсти видимость выполнения этого приказа, хотя на самом деле речь идет о прямом его нарушении. К сожалению, оказалось, что святая инквизиция не сумела оценить столь тонкий юмор.

Теория неподвижной Земли основывалась на предположении о том, будто абстрактный центр Вселенной существует. Предполагалось, что этот центр вызывает падение тяжелых тел на поверхность Земли, поскольку материальные тела стремятся расположиться как можно ближе к центру Вселенной (насколько позволяет непроницаемость Земли). Из этих соображений и следовала приближенно сферическая форма Земли.

Галилей возражает против введения «ничего» (центра Вселенной), оказывающего, по предположению, действие на материальные тела, считая это совершенно неудовлетворительным.

Но он обращает внимание и на то, что эта неудовлетворительная гипотеза мало что дает. Хотя она и объясняет сферическую форму Земли, но ничего не говорит о сферической форме других небесных тел. Тем не менее, фазы Луны и открытые им с помощью им же изобретенного телескопа фазы Венеры, доказали, что оба эти небесные тела имеют сферическую форму. Подробные наблюдения солнечных пятен показали, что и Солнце имеет сферическую форму. Вообще, во времена Галилея вряд ли оставались какие-нибудь сомнения относительно того, что планеты и звезды имеют сферическую форму.

Поэтому гипотезу о «центре Вселенной» следовало заменить гипотезой, которая объясняла бы сферическую форму не только Земли, но и звезд. Галилей совершенно недвусмысленно заявляет о том, что должно существовать какое-то взаимодействие (стремление к сближению) между частицами вещества, образующего звезды. Та же причина должна была

вызывать свободное падение тяжелых тел на земной поверхности (после того, как гипотеза «центра Вселенной» будет отброшена).

Я хотел бы обратить внимание на тесную аналогию между отказом Галилея от гипотезы «центра Вселенной» при объяснении падения тяжелых тел и отказом от гипотезы об инерциальной системе при объяснении инерциального поведения материи. (Этот отказ лежит в основе общей теории относительности.) Общим для обеих гипотез является введение некоторого абстрактного объекта, обладающего следующими свойствами:

- 1) реальность этого объекта (в отличие от реальности весомой материи или «поля») не предполагается;
- 2) этот объект воздействует на материальные тела, но сами тела обратного действия оказывать не могут.

Введение таких абстрактных объектов, хотя и не является абсолютно недопустимым с чисто логической точки зрения, противоречит инстинкту ученого.

Галилей понял также, что действие сил тяжести на свободно падающие тела проявляется в постоянстве ускорения в вертикальном направлении и что, кроме того, на равноускоренное движение по вертикали можно наложить равномерное движение по горизонтали.

В сущности, в этих открытиях содержится (по крайней мере качественно) основа теории, впоследствии сформулированной Ньютоном. Отсутствует прежде всего общая формулировка принципа инерции, хотя ее можно было бы легко получить из галилеевского закона падения тел с помощью предельного перехода (переход к нулевым вертикальным ускорениям). Отсутствует идея, что та же материя, которая вызывает вертикальное ускорение на поверхности небесного тела, может ускорять другое небесное тело и что такое ускорение вместе с инерцией может приводить к вращательному движению. Однако Галилей знал, что наличие материи (Земля) вызывает ускорение свободных тел (у поверхности Земли).

Сегодня нам трудно оценить, какая сила воображения потребовалась, чтобы прийти к точной формулировке понятия ускорения и осознать физический смысл этого понятия.

Коль скоро представление о центре Вселенной с полным правом было отброшено, идея о неподвижности и, вообще, об исключительной роли Земли лишилась своего основания. Тем самым, вопрос о том, что следует считать «находящимся в покое» при описании движения небесных тел, стал вопросом удобства. Следуя Аристарху и Копернику, обычно подчеркивают преимущества, связанные с выбором Солнца в качестве тела, находящегося в состоянии покоя (по Галилею, этот выбор является не чистым соглашением, а гипотезой, которая может быть «истинной» или «ложной»). Указывают, что проще рассматривать вращение Земли вокруг своей оси, чем общее вращение всех неподвижных звезд вокруг Земли.

Кроме того, предположение о вращении Земли вокруг Солнца устраняет различие в движении внутренних и внешних планет и доставлявшее много хлопот возвратное движение внешних планет, позволяя объяснить его движением Земли вокруг Солнца.

Как ни сильны все эти аргументы, в особенности, если рассматривать их в связи со сделанным Галилеем открытием, состоящим в том, что Юпитер со своими лунами в каком-то смысле представляет коперниканскую систему в миниатюре, все же все эти аргументы носят качественный характер. В самом деле, поскольку мы, люди, привязаны к Земле, наши наблюдения никогда не дадут нам непосредственно «истинные» движения планет, а дадут лишь движение точки пересечения луча зрения (направление Земля — наблюдаемая планета) со «сферой неподвижных звезд». Подтверждение правильности коперниканской системы, выходящее за рамки чисто качественных аргументов, стало возможно лишь после того, как были определены «истинные» орбиты планет. Эту проблему почти непреодолимой трудности поистине гениально решил Кеплер (еще при жизни Галилея). Но этот существенный прогресс не оставил никаких следов в работе Галилея — яркая иллюстрация того, что творческие личности не всегда обладают легкостью восприятия.

Многих трудов стоило Галилею доказательство того, что гипотеза о вращении Земли вокруг собственной оси и Солнца не опровергается тем, что мы не наблюдаем никаких механических эффектов этих движений. Строго говоря, такое доказательство в то время было невозможно, поскольку тогда еще не было законченной теоретической механики. Я считаю, что именно в связи с этой проблемой своеобразие мышления Галилея проявилось с особой силой. Разумеется, Галилею было важно также показать, что неподвижные звезды слишком удалены от нас, чтобы их параллаксы, связанные с годичным движением Земли, можно было измерить с помощью имевшихся в его время приборов. Несмотря на всю свою примитивность, это исследование также гениально.

Именно стремление Галилея дать механическое доказательство движения Земли привело его к формулировке ошибочной теории приливов. Если бы не его темперамент, Галилей вряд ли бы считал, что блестящие аргументы, изложенные в последней беседе, имеют доказательную силу. Трудно удержаться от искушения и не остановиться на этом вопросе несколько подробнее.

Лейтмотив, явственно звучащий во всей книге Галилея, — это страстная борьба против любого рода догм, основанных на авторитете. Только эксперимент и строгие рассуждения он считал критериями истины. Сейчас нам трудно даже представить себе, сколь раздражающими и революционными казались подобные взгляды во времена Галилея, когда одно лишь сомнение в истинности мнений, основанных на одном только авторитете,

являлось тяжким преступлением и каралось в соответствии с этим. С тех пор, как бы мы ни льстили себе, в этом отношении мало что изменилось, но по крайней мере в теории победил принцип непредвзятого мышления, и многие следуют ему, хотя и не вполне искренне.

Часто утверждают, что Галилей стал отцом современной науки, заменив умозрительный, дедуктивный метод экспериментальным, эмпирическим методом. Думаю, однако, что подобное мнение не выдерживает более внимательной проверки. Не существует эмпирического метода без чисто умозрительных понятий и систем, и не существует систем чистого мышления, при более близком изучении которых не обнаруживался бы эмпирический материал, на котором они строятся. Резкое противопоставление эмпирического и дедуктивного подходов неверно, и было совершенно чуждо Галилею. Логические (математические) системы, полностью лишённые какого бы то ни было эмпирического содержания, были созданы лишь в девятнадцатом веке. Кроме того, экспериментальные методы, которыми располагал Галилей, были столь несовершенны, что только с помощью чистого мышления можно было свести их в единое целое. (Например, не было способов измерения промежутков времени меньше секунды.) В работе Галилея спор идет не о том, что верно: эмпиризм или рационализм. Галилей возражает против дедуктивных методов Аристотеля и его сторонников только потому, что считает их исходные предпосылки произвольными и несостоятельными, а вовсе не потому, что его противники пользуются дедуктивными методами. В первом диалоге он в нескольких отрывках подчеркивает, что и по Аристотелю самые правдоподобные выводы следует отбросить, если они не согласуются с эмпирическими наблюдениями. В то же время, Галилей сам существенно использует логическую дедукцию. Его усилия направлены к достижению не столько «истинного знания», сколько «понимания». А ведь понять в сущности и означает суметь сделать выводы из принятой логической системы.

Русский перевод книги Галилея издан в 1948 г. Он включен также в 1-й том двухтомного издания: Г а л и л е о Г а л и л е й. Избранные труды. М., 1964.

К 410-й ГОДОВЩИНЕ СО ДНЯ СМЕРТИ КОПЕРНИКА *

Сегодня мы с радостью и благодарностью чтим память человека, который больше, чем кто-либо другой на Западе, способствовал освобождению умов от церковных оков и научных догм.

Правда, уже в древней Греции некоторые ученые были убеждены, что Земля не является неким естественным центром мира. Но такое понимание Вселенной не получило в древности действительного признания. Аристотель и греческая астрономическая школа продолжали тяготеть к геоцентрической концепции; едва ли кто-нибудь в ней сомневался.

Сегодня нелегко постигнуть, какая независимость мысли, редкая интуиция и мастерское владение астрономическими фактами были нужны для доказательства превосходства гелиоцентрических воззрений. Это великое достижение Коперника не только проложило дорогу к современной астрономии; оно способствовало решительному изменению отношения людей к космосу. Раз было признано, что Земля является не центром мира, а лишь одной из самых малых планет, то и иллюзорное представление о центральной роли самого человека стало несостоятельным. Таким образом, своими трудами и величием своей личности Коперник призывал людей быть скромными.

Никакая нация не должна гордиться одна, что такой человек развился в ее среде. Национальная гордость — это скорее легкая слабость, которая не оправдана перед лицом человека с такой внутренней независимостью, как Коперник.

Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

* *Message on the 410th Anniversary of the Death of Copernicus.* В сб. «Ideas and Opinions». N. Y., 1954, 359—360. (По случаю мемориального вечера в Колумбийском университете. Нью-Йорк, декабрь 1953 г. — *Ред.*)

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ МАКСА ДЖЕММЕРА „ПОНЯТИЕ ПРОСТРАНСТВА“ *

Чтобы полностью оценить важность таких работ, как предлагаемая вниманию читателя книга Макса Джеммера, следует иметь в виду следующее. Взор ученого обращен к явлениям, доступным наблюдениям, их апперцепции и формулировке с помощью понятий. Пытаясь найти нужную абстрактную формулировку, которая позволила бы ему охватить огромное количество зачастую противоречивых экспериментальных данных, ученый использует целый арсенал понятий, которые он, практически, впитал с молоком матери. Он редко осознает (если вообще осознает) извечно проблематический характер этих понятий. Для него эти понятия являются тем материалом, который он использует в своих построениях. Точнее говоря, эти понятия служат орудиями его мышления, чем-то очевидным, неизменным, имеющим объективное значение истины, чем-то, в чем вряд ли приходится сомневаться, во всяком случае всерьез. Да и как могло бы быть иначе? Как можно было бы совершать восхождение на гору, если бы на каждое движение рук, ног и на вспомогательное снаряжение требовалась бы санкция такой науки, как механика? И все же в интересах науки эти фундаментальные понятия вновь и вновь требуют критического пересмотра, чтобы не следовать им бессознательно. Необходимость такого пересмотра становится особенно очевидной в тех ситуациях, когда развитие идей, последовательно использующих традиционные фундаментальные понятия, приводит к парадоксам, решение которых является нелегким делом.

Но если отвлечься от сомнений в обоснованности использования этих фундаментальных понятий, т. е. если не считать такие сомнения первостепенными, то происхождение, или истоки, этих понятий выступают как задачи истории. Такие исследования, хотя и относятся к области истории мысли, все же так или иначе зависят и от попыток логического и психологического анализа основных понятий.

* *Foreword.* В кн.: M a x J a m m e r. Concepts of Space. Cambridge, Harvard University Press, 1954.

Ограниченные дарования и трудоспособность отдельной личности приводят к тому, что нам лишь редко удается встретить человека, обладающего филологической и исторической подготовкой, необходимой для критического истолкования и сравнения источников и материалов, относящихся к нескольким столетиям, и способного в то же время оценить значение рассматриваемых концепций для науки в целом. У меня сложилось впечатление, что д-р Джеммер своей работой убедительно доказал, что в данном случае все эти условия в высокой степени удовлетворены.

В основном он ограничился (и, на мой взгляд, это ограничение разумно) историческим исследованием понятия пространства. Если два различных автора используют такие слова, как «красный», «твердый» или «разочарованный», то они, несомненно, имеют в виду более или менее одно и то же, ибо эти слова так связаны с примитивным опытом, что в них трудно вложить различный смысл. Если же эти авторы употребляют такие слова, как «место» или «пространство», менее непосредственно связанные с психологическим опытом, то существует далеко идущая неоднозначность в интерпретации этих слов. Эту неоднозначность историк пытается преодолеть, сравнивая тексты и пытаясь принять во внимание общую картину культурного уровня рассматриваемой эпохи, воссозданную по литературе. Ученый в настоящее время получает подготовку в основном иную, нежели историк, и имеет совсем иные интересы; поэтому он не может и не хочет выработать свою собственную точку зрения по вопросу о происхождении фундаментальных понятий. Он более склонен к тому, чтобы интуитивно строить свою точку зрения на то, как могли бы развиваться указанные понятия, на основе своих рудиментарных знаний о научных достижениях различных эпох. Однако он будет благодарен историку, если тот сумеет убедительным образом внести поправки в его точку зрения, имеющую чисто интуитивное происхождение.

Что же касается понятия пространства, то ему предшествует психологически более простое понятие места. Место — это прежде всего (небольшая) часть поверхности Земли, называемая этим словом. Предмет, место которого указано, является «материальным объектом», или телом. Простой анализ показывает, что «место» — это также группа материальных объектов. Имеет ли слово «место» какой-нибудь иной смысл, независимый от только что указанного? Можно ли придать этому слову какой-нибудь иной смысл? Если на этот вопрос следует отвечать отрицательно, то создается впечатление, что пространство (или место) — это не что иное, как некое упорядоченное расположение материальных объектов.

Если понятие пространства строится именно таким образом и имеет именно эти ограничения, то говорить о пустом пространстве бессмысленно.

но, а так как формирование понятий всегда инстинктивно стремится к экономии, то, естественно, понятие пустого пространства приходится отвергнуть.

Однако возможен и совсем иной подход. В данную коробку мы можем поместить вполне определенное число зерен риса, вишен и т. д. В этом случае речь идет о некотором свойстве материального объекта, называемого «коробкой». Это свойство следует считать «реальным» в том же смысле, что и саму коробку. Это свойство можно назвать «пространством» коробки. Могут существовать и другие коробки, обладающие тем же «пространством». Таким образом, понятие «пространство» приобретает смысл, не зависящий от какого-то конкретного материального объекта. Следуя этому подходу, с помощью естественного обобщения понятия «пространства коробки» можно прийти к понятию независимого (абсолютного) пространства, обладающего неограниченной протяженностью, в котором содержатся все материальные объекты. Но тогда материальный объект, не расположенный каким-то образом в пространстве, просто немислим. С другой стороны, уже самый способ формирования понятия говорит о том, что пустое пространство может существовать.

Эти две концепции пространства можно противопоставить друг другу следующим образом: (а) пространство как свойство материальных объектов занимать определенное положение; (б) пространство как то, что содержит в себе все материальные объекты. В случае (а) пространство без материального объекта немислимо. В случае (б) материальный объект мыслим только как существующий в пространстве; в этом случае пространство выступает как реальность, обладающая большей общностью по сравнению с материальным миром. Обе концепции пространства являются свободными творениями человеческого воображения, средствами, облегчающими восприятие нашего чувственного опыта.

В этих схематичных рассуждениях речь идет о природе пространства, рассматриваемого с геометрической и кинематической точек зрения, соответственно. В некотором смысле они совпадут друг с другом, если, следуя Декарту, ввести систему координат, хотя введение координатной системы заранее предполагает логически более смелую концепцию (б).

Понятие пространства обогатили и усложнили Галилей и Ньютон, считавшие, что пространство должно выступать как независимая причина свойств инерции тел, если классическому принципу инерции (а тем самым и классическому закону движения) желательно придать точный смысл. Полное и ясное осознание этого обстоятельства является, на мой взгляд, величайшим достижением Ньютона. В отличие от Лейбница и Гюйгенса, Ньютон ясно понимал, что концепция (а) недостаточна для того, чтобы служить основой принципа инерции и закона движения. Он пришел к этому выводу, несмотря на то, что и его беспокоили те же сооб-

ражения, которые вынуждали Лейбница и Гюйгенса придерживаться противоположной точки зрения: пространство не только выступает как нечто независимое от материальных объектов, но и играет особую роль во всей причинной структуре теории. Эта роль абсолютна в том смысле, что пространство (как инерциальная система) оказывает воздействие на все материальные объекты, хотя это воздействие и не вызывает ответных реакций со стороны последних.

Успехи ньютоновской системы привели к тому, что все эти тонкие соображения в течение столетий обходились молчанием. Пространство типа (б) было принято всеми учеными в виде инерциальной системы, снабженной временем. Нельзя не упомянуть и о знаменитой дискуссии между Ньютоном и Лейбницем. Выводы Ньютона при современном ему состоянии науки были единственно возможными и, в частности, единственно плодотворными. Но последующее развитие проблемы, которое вряд ли можно было предвидеть заранее, показало, что сопротивление Лейбница и Гюйгенса, исходивших из интуитивно правильных, но плохо подкрепленных аргументов, на самом деле было вполне обосновано.

Потребовалась жестокая борьба, чтобы прийти к понятию независимого и абсолютного пространства, неопенимому для развития теории. Не менее напряженные усилия потребовались для того, чтобы впоследствии преодолеть это понятие. Этот процесс, по-видимому, не закончился еще и поныне.

В книге д-ра Джеммера много внимания уделяется исследованиям состояния, в котором находилось понятие пространства в древности и в средние века. На основании своих исследований он склонен думать, что современная концепция пространства типа (б) возникла лишь после эпохи Возрождения. Мне кажется, что атомистическая теория древних с ее атомами, существующими отдельно друг от друга, предполагает наличие пространства типа (б), в то время как более влиятельная школа Аристотеля пыталась обойтись без концепции независимого (абсолютного) пространства. Точка зрения д-ра Джеммера по поводу влияния теологии на развитие понятия пространства, о которой я не могу судить компетентно, несомненно, вызовет интерес у тех, кто интересуется проблемой пространства, главным образом, с исторической точки зрения.

Победа над концепцией абсолютного пространства, или инерциальной системы, стала возможной лишь вследствие того, что роль фундаментального понятия физики постепенно вместо понятия материального объекта стало играть понятие поля. Под влиянием идей Фарадея и Максвелла была выработана точка зрения, согласно которой вся физическая реальность может быть представлена в виде поля, компоненты которого зависят от четырех пространственно-временных параметров. Если законы этого поля в общем случае ковариантны, т. е. не зависят от конкретного

выбора системы координат, то введение независимого (абсолютного) пространства утрачивает всякую необходимость. Пространственный характер физической реальности обуславливается в этом случае четырехмерностью поля. В этом случае «пустого» пространства, т. е. пространства без поля, не существует.

Д-р Джеммер рассматривает и тот длинный и отнюдь не прямой путь, который позволил (по крайней мере, в значительной степени) преодолеть трудности этой проблемы. До настоящего времени мы не знаем иного способа избежать введения инерциальной системы, кроме теории поля.

Русский перевод был опубликован в № 3 журнала «Вопросы философии» за 1957 г. В этом же номере был помещен и перевод статьи «Квантовая механика и действительность» (см. статью 77, том III).

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ ЛУИ ДЕ БРОЙЛЯ „ФИЗИКА И МИКРОФИЗИКА“ *

Эта книга — единственная в своем роде. Именно де Бройль был первым, кто осознал тесную физическую и формальную взаимосвязь между квантовыми состояниями материи и явлениями резонанса еще в те времена, когда волновая природа материи не была открыта экспериментально.

Изложение молекулярной физики последних десятилетий с ее удивительными экспериментальными результатами и созидательными теориями должно расширить и углубить познания любого читателя.

Однако наибольшее впечатление на меня произвела искренность изложения борьбы за логическое обоснование основ физики. В конечном счете именно эта борьба и привела де Бройля к твердому убеждению в том, что все элементарные процессы имеют статистическую природу. Я считаю особенно увлекательным рассмотрение философии Бергсона и Зенона с точки зрения недавно разработанных концепций.

Творческий талант автора удачно сочетается с ясным критическим и философским мышлением.

* *Foreword.* В кн.: Louis de Broglie. Physics and microphysics. New York, 1955.

АВТОБИОГРАФИЧЕСКИЕ НАБРОСКИ *

В 1895 г. в шестнадцатилетнем возрасте я приехал из Италии в Цюрих, после того как без школы и без учителя провел год в Милане у родителей. Моей целью было поступление в политехникум, хотя я не совсем ясно представлял себе, как это можно осуществить. Я был своенравным, но скромным молодым человеком, который приобрел свои необходимые знания спорадически, главным образом путем самообразования. Я жаждал глубоких знаний, но обучение не казалось мне легкой задачей: я был мало приспособлен к заучиванию и обладал плохой памятью. С чувством вполне обоснованной неуверенности я явился на вступительный экзамен на инженерное отделение. Экзамен показал мне прискорбную недостаточность моей подготовки, несмотря на то, что экзаменаторы были снисходительны и полны сочувствия. Я понимал, что мой провал был вполне оправдан. Отрадно было лишь то, что физик Г. Ф. Вебер сказал мне, что я могу слушать его коллег, если останусь в Цюрихе. Но ректор, профессор Альбин Герцог, рекомендовал меня в кантональную школу в Аарау, где после годичного обучения я сдал экзамен на аттестат зрелости. Эта школа оставила во мне неизгладимый след благодаря своему либеральному духу и скромной серьезности учителей, которые не опирались на какие-либо показные авторитеты; сравнение с шестилетним обучением в авторитарно управляемой немецкой гимназии убедительно показало мне, насколько воспитание в духе свободы и чувства личной ответственности выше воспитания, которое основано на муштре, внешнем авторитете и честолюбии. Настоящая демократия не является пустой иллюзией.

В том же году в Аарау у меня возник вопрос: если бы можно было погнаться за световой волной со скоростью света, то имели бы мы перед собой

* *Autobiographische Skizze. Helle Zeit — dunkle Zeit. In Memorium Albert Einstein. Herausgegeben von Carl Seelig. Zürich, 1956.*

не зависящее от времени волновое поле? Такое все-таки кажется невозможным! Это был первый детский мысленный эксперимент, который относился к специальной теории относительности. Открытие не является делом логического мышления, даже если конечный продукт связан с логической формой.

1896—1900 гг. — обучение на отделении преподавателей специальных дисциплин швейцарского политехникума. Вскоре я заметил, что довольствуюсь ролью посредственного студента. Для того чтобы быть хорошим студентом, нужно обладать легкостью восприятия; готовностью сконцентрировать свои силы на всем том, что читается на лекции; любовью к порядку, чтобы записывать и затем добросовестно обрабатывать преподаваемое на лекциях. Всех этих качеств мне основательно недоставало, как я с сожалением установил. Так постепенно я научился ладить с не совсем чистой совестью и организовывать свое ученье так, как это соответствовало моему интеллектуальному желудку и моим интересам. Некоторые лекции я слушал с большим интересом. Но обыкновенно я много «прогуливал» и со священным рвением штудировал дома корифеев теоретической физики. Само по себе это было хорошо и служило также тому, что нечистая совесть так действительно успокоилась, что душевное равновесие не нарушалось сколько-нибудь заметно. Это широкое самостоятельное обучение было простым продолжением более ранней привычки; в нем принимала участие сербская студентка Милева Марич, которая позднее стала моей женой. Однако в физической лаборатории профессора Г. Ф. Вебера я работал со рвением и страстью. Захватывали меня также лекции профессора Гейзера по дифференциальной геометрии, которые были настоящими шедеврами педагогического искусства и очень помогли мне позднее в борьбе, развернувшейся вокруг общей теории относительности. Но высшая математика еще мало интересовала меня в студенческие годы. Мне ошибочно казалось, что это настолько разветвленная область, что можно легко растратить всю свою энергию в далекой провинции. К тому же по своей наивности я считал, что для физики достаточно твердо усвоить элементарные математические понятия и иметь их готовыми для применения, а остальное состоит в бесполезных для физики тонкостях, — заблуждение, которое только позднее я с сожалением осознал. У меня, очевидно, не хватало математических способностей, чтобы отличить центральное и фундаментальное от периферийного и не принципиально важного.

В эти студенческие годы развилась настоящая дружба с товарищем по учебе, Марселем Гроссманом. Раз в неделю мы торжественно шли с ним в кафе «Метрополь» на набережной Лиммат и разговаривали не только об учебе, но и, сверх того, о всех вещах, которые могут интересовать молодых людей с открытыми глазами. Он не был таким бродягой и

чужаком, как я, но был связан со швейцарской средой и в пределах возможного не потерял внутренней самостоятельности. Кроме того, он обладал в избытке как раз теми данными, которых мне не хватало: быстрым восприятием и порядком во всех отношениях. Он не только посещал все лекции, которые мы считали важными, но и обрабатывал их так замечательно, что если бы его тетради перепечатать, то их вполне можно было бы издать. Для подготовки к экзаменам он одалживал мне эти тетради, которые служили для меня спасательным кругом; о том, как мне жилось бы без них, лучше не гадать.

Несмотря на эту неоценимую помощь и вопреки тому, что все читавшиеся нам предметы сами по себе были интересными, я должен был перебороть себя, чтобы основательно изучить все эти вещи. Для людей моего типа, склонных к долгому раздумью, университетское образование не является безусловно благодатным. Если человека заставить съесть много хороших вещей, он может надолго испортить себе аппетит и желудок. Огонек священного любопытства может надолго угаснуть. К счастью, у меня эта интеллектуальная депрессия после благополучного окончания учебы длилась только год.

Самое большое из того, что сделал для меня Марсель Гроссман как друг, было следующее. Приблизительно через год после окончания обучения он рекомендовал меня через отца директору Швейцарского патентного бюро Фридриху Галлеру, которое тогда еще называлось «Бюро духовной собственности». После обстоятельного устного испытания господин Галлер принял меня на службу. Благодаря этому в 1902—1909 гг., как раз в годы наиболее продуктивной деятельности, я был избавлен от забот о существовании. Кроме того, работа над окончательной формулировкой технических патентов была для меня настоящим благословением. Она принуждала к многостороннему мышлению, а также давала импульс для физических размышлений. Наконец, практическая профессия вообще является благословением для людей моего типа. Ибо академическая карьера вынуждает молодых людей производить научные труды во все возрастающем количестве, что приводит к соблазну поверхностности, которому могут противостоять только сильные характеры. Большинство практических профессий относится, далее, к такому роду, что человек нормальных способностей в состоянии выполнить то, чего от него ждут. В своем житейском существовании он не зависит от особых озарений. Если у него есть более глубокие научные интересы, то, наряду со своей обязательной работой, он может погрузиться в свою любимую проблему. Его не должна угнетать боязнь того, что его усилия могут остаться безрезультатными.

Тем, что я оказался в таком счастливом положении, я обязан Марселю Гроссману.

Из событий научного характера, которые относятся к тем счастливым годам в Берне, я упомяну лишь одно, которое привело к наиболее плодотворной идее в моей жизни. Специальной теории относительности было уже несколько лет, когда возник вопрос: ограничен ли принцип относительности инерциальными системами, т. е. системами координат, которые движутся равномерно друг относительно друга (линейные преобразования координат)? Врожденный инстинкт подсказывает: «Вероятно, нет!». Но основное положение всей прежней механики — принцип инерции — как будто бы исключает всякое расширение принципа относительности. А именно, если ввести систему координат, движущуюся с ускорением (по отношению к инерциальной системе), то «изолированная» точечная масса больше не движется прямолинейно и равномерно относительно этой системы.

Ум, не связанный установившимися привычками, спросил бы теперь: а не дает ли мне в руки это поведение способ отличить инерциальную систему от неинерциальной? Он должен был бы затем прийти к выводу (по крайней мере в случае прямолинейного равноускоренного движения), что это не так. Ибо механическое поведение тел относительно такой ускоренной системы координат можно интерпретировать так же, как действие гравитационного поля; это можно сделать благодаря эмпирическому факту, который заключается в том, что в гравитационном поле ускорение тел, независимо от их природы, всегда одно и то же. Знание этого (принцип эквивалентности) сделало вероятным не только то, что законы природы должны быть инвариантными по отношению к общей группе преобразований Лоренца (расширение принципа относительности), но также и то, что это расширение должно привести к углубленной теории гравитационного поля. В том, что эта идея в принципе является правильной, я по меньшей мере не сомневался. Но трудности ее осуществления казались почти непреодолимыми. Прежде всего элементарные соображения показывали, что переход к более широкой группе преобразований несовместим с прямой интерпретацией пространственно-временных координат, которая проложила путь специальной теории относительности. Кроме того, нельзя было усмотреть, как должна быть выбрана расширенная группа преобразований. В действительности мне удалось подойти к этому принципу эквивалентности окольным путем, описание которого здесь неуместно.

В 1909—1912 гг., в то время как я занимался теоретической физикой в Цюрихском и Пражском университетах, я непрерывно размышлял об этой проблеме. В 1912 г., когда меня пригласили на работу в Цюрихский политехникум, я уже значительно ближе подошел к решению этой проблемы. Важным здесь оказался анализ Германа Минковского формальных основ специальной теории относительности. Его можно сконцентри-

ровать в следующем предложении: четырехмерное пространство имеет (инвариантную) псевдоэвклидову метрику; она определяет метрические свойства пространства, которые можно констатировать экспериментально, а также принцип инерции и, сверх того, форму системы уравнений, инвариантных относительно преобразований Лоренца. В этом пространстве имеются предпочтительные, а именно, кваздекартовы системы координат, которые являются здесь единственными «естественными» (инерциальные системы).

Принцип эквивалентности позволяет нам ввести в таком пространстве нелинейные преобразования координат, т. е. недекартовы («криволинейные») координаты. Псевдоэвклидова метрика принимает при этом общую форму

$$ds^2 = \sum g_{ik} dx_i dx_k;$$

суммирование ведется по индексам i и k (от 1 до 4). Эти g_{ik} являются тогда функциями четырех координат, которые согласно принципу эквивалентности кроме метрики описывают также «гравитационное поле». Конечно, гравитационное поле здесь имеет совершенно особый вид. Ибо с помощью преобразования метрики можно перевести в специальную форму

$$-dx_1^2 - dx_2^2 - dx_3^2 + dx_4^2,$$

т. е. в форму, в которой g_{ik} не зависят от координат. В этом случае описываемое посредством g_{ik} гравитационное поле можно «оттрансформировать». В последней специальной форме инерционные свойства изолированных тел выражаются (временноподобной) прямой линией. В общей форме им соответствуют «геодезические линии».

Эта формулировка отсылалась, правда, все еще к случаю псевдоэвклидова пространства. Однако она ясно показала, как нужно осуществлять переход к гравитационным полям общего вида. Здесь также необходимо описывать гравитационное поле посредством некоторого рода метрики, т. е. симметричного тензорного поля g_{ik} . Обобщение состоит просто в том, что теперь нужно отбросить предположение о том, что это поле можно превратить в псевдоэвклидово с помощью простого преобразования координат.

Тем самым проблема гравитации была сведена к чисто математической. Существуют ли дифференциальные уравнения для g_{ik} , которые инвариантны относительно нелинейных преобразований координат? Такие и только такие дифференциальные уравнения принимались во внимание как уравнения гравитационного поля. Закон движения материальной точки давался бы тогда уравнением геодезической линии.

С этой задачей в голове я навел в 1912 г. моего старого студенческого друга Марселя Гроссмана, который тем временем стал профессором математики в Швейцарском политехникуме. Он тотчас загорелся, хотя как настоящий математик имел несколько скептическую точку зрения на физику. Когда мы оба были еще студентами и привычным образом обменивались в кафе нашими мыслями, он сделал однажды такое прекрасное, характерное замечание, что я не могу его здесь не процитировать: «Я полагаю, что из изучения физики я все же почерпнул кое-что существенное. Когда раньше я садился на стул и ощущал еще остаток тепла, которое принадлежало „председателю“ (Vor-Sitzenden), мне было неприятно. Все это совершенно прошло, так как физика научила меня, что теплота есть нечто совершенно безличное».

Вышло так, что хотя он охотно согласился совместно работать над проблемой, но все-таки с тем ограничением, что он не берет на себя никакой ответственности за какие-либо физические утверждения и интерпретации. Он тщательно просмотрел литературу и скоро обнаружил, что указанная математическая проблема была уже решена прежде всего Риманом, Риччи и Леви-Чивитой. Это развитие в целом примыкало к теории кривизны поверхностей Гаусса; в этой теории впервые были систематически использованы обобщенные координаты. Достижения Римана были наибольшими. Он показал, как из поля тензоров g_{ik} можно получить вторые производные. Из этого следовало, как должны выглядеть уравнения поля гравитации в случае, если поставлено требование инвариантности относительно группы всех непрерывных преобразований координат. Однако не так легко было принять это требование как обоснованное, так как я считал, что против него можно найти какие-то возражения. Эта, разумеется, ошибочная мысль привела к тому, что в своей окончательной форме теория появилась только в 1916 г.

В то время как я усердно работал совместно с моим другом, никто из нас не думал, что злой недуг так скоро унесет этого замечательного человека. Потребность по крайней мере один раз в жизни выразить мою благодарность Марселю Гроссману придала мне смелость написать эти довольно пестрые автобиографические наброски.

Со времени завершения теории гравитации теперь прошло уже сорок лет. Они почти исключительно были посвящены усилиям вывести путем обобщения из теории гравитационного поля единую теорию поля, которая могла бы образовать основу для всей физики. С той же целью работали многие. Некоторые обнадеживающие попытки я впоследствии отбросил. Но последние десять лет привели, наконец, к теории, которая кажется мне естественной и обнадеживающей. Я не в состоянии сказать, могу ли я считать эту теорию физически полноценной; это объясняется пока еще непреодолимыми математическими трудностями; впрочем,

такие же трудности представляет применение любой нелинейной теории поля. Кроме того, вообще кажется сомнительным, может ли теория поля объяснить атомистическую структуру вещества и излучения, а также квантовые явления. Большинство физиков, несомненно, ответят убежденным «нет», ибо они считают, что квантовая проблема должна решаться принципиально иным путем. Как бы то ни было, нам остаются в утешение слова Лессинга: «Стремление к истине ценнее, дороже уверенного обладания ею».

Русский перевод напечатан в журнале «Успехи физических наук», 1965, 86, 407.

ЭВОЛЮЦИЯ ФИЗИКИ

РАЗВИТИЕ ИДЕЙ ОТ ПЕРВОНАЧАЛЬНЫХ ПОНЯТИЙ ДО ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И КВАНТОВ*

Совместно с Л. Инфельдом

A. Einstein, L. Infeld. *The Evolution of Physics. The Growth of Ideas from early Concepts to Relativity and Quanta.* 1938.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	359
I. Расцвет механистического воззрения	361
Великая повесть о тайнах природы.— Первая путеводная нить.— Векторы.— Загадка движения.— Еще одна нить.— Является ли теплота субстанцией? — Аттракцион «горка».— Мера превращения.— Философские воззрения.— Кинетическая теория вещества.	
II. Упадок механистического воззрения	401
Две электрические жидкости.— Магнитные жидкости.— Первая серьезная трудность.— Скорость света.— Свет как субстанция.— Загадка цвета.— Что такое волна? — Волновая теория света.— Продольны или поперечны световые волны? — Эфир и механистическое воззрение.	
III. Поле и относительность	435
Поле как представление.— Два столпа теории поля.— Реальность поля.— Поле и эфир.— Механические леса.— Эфир и движение.— Время, пространство, относительность.— Относительность и механика.— Пространственно-временной континуум.— Общая теория относительности.— Вне и внутри лифта.— Геометрия и опыт.— Общая теория относительности и ее экспериментальная проверка.— Поле и вещество.	
IV. Кванты	513
Непрерывность — прерывность.— Элементарные кванты вещества и электричества.— Кванты света.— Оптические спектры.— Волны материи.— Волны вероятности.— Физика и реальность.	

ПРЕДИСЛОВИЕ

Прежде чем вы начнете чтение, вы вправе ожидать ответа на некоторые простые вопросы. С какой целью написана эта книга? Кто тот всеобъемлющий читатель, для которого она предназначается?

Трудно начать с ясного и последовательного ответа на эти вопросы. Гораздо легче ответить на них в конце книги, хотя это будет уже излишним. Мы находим, что проще объяснить, чем эта книга не стремится быть. Мы не писали учебника по физике. Здесь нет систематического изложения элементарных физических фактов и теорий. Скорее наше стремление состояло в том, чтобы широкими штрихами обрисовать попытки человеческого разума найти связь между миром идей и миром явлений. Мы стремились показать те активные силы, которые вынуждают науку создавать идеи, соответствующие реальности нашего мира. Но наше изложение должно быть простым. Сквозь лабиринт фактов и понятий мы должны были избрать столбовой путь, который казался нам самым характерным и значительным. Те факты и теории, которые не лежали на избранном пути, мы должны были опустить. Наша основная цель вынуждала нас сделать определенный выбор фактов и идей. О важности проблемы не следует судить по числу страниц, посвященных ей. Некоторые существенные направления мысли не были отражены не потому, что они казались нам несущественными, а потому что они не лежат на том пути, который мы избрали.

Когда мы писали книгу, мы вели длинные дискуссии о характере нашего идеализированного читателя и сильно беспокоились о нем. Мы восполняли отсутствие у него каких-либо конкретных сведений по физике и математике большим числом его достоинств. Мы считали его заинтересованным в физических и философских идеях и были вынуждены восхищаться тем терпением, с каким он пробивался через менее интересные и более трудные страницы. Он ясно сознавал, что для того, чтобы понять какую-либо страницу, он должен был внимательно прочесть предыдущие. Он знал, что научная, хотя бы и популярная, книга не может читаться так же, как новелла.

Книга — это беседа между вами и нами. Вы можете найти ее скучной или интересной, утомительной или возбуждающей, но наша цель будет достигнута, если эти страницы дадут некоторое представление о вечной борьбе изобретательного человеческого разума за более полное понимание законов, управляющих физическими явлениями.

The Evolution of Physics

THE GROWTH OF IDEAS
FROM EARLY CONCEPTS TO
RELATIVITY AND QUANTA

by
Albert Einstein
and Leopold Infeld



SIMON AND SCHUSTER
NEW YORK • 1942

И. РАСЦВЕТ МЕХАНИСТИЧЕСКОГО ВОЗЗРЕНИЯ

Великая повесть о тайнах природы

Представим себе идеальную детективную повесть. В такой повести нам выдаются все важные нити и нас заставляют создавать свою собственную теорию о преступлении. Если мы внимательно последуем развитию событий, мы приходим к полному решению как раз тогда, когда автор переходит к разоблачениям в конце книги.

Можем ли мы уподобить читателя такой книги ученым, которые через все следующие друг за другом поколения продолжают добиваться раскрытия тайн в книге природы? Сравнение неверно и его нужно впоследствии отбросить, но оно имеет некоторое оправдание; его следует расширить и видоизменить, чтобы оно лучше отвечало попыткам науки разгадать тайны Вселенной.

Эта великая повесть о тайнах еще не окончена. Мы даже не можем быть уверены в том, что она имеет окончательное завершение. Но уже само чтение дало нам многое. Оно научило нас основам языка природы. Оно позволило нам понять многие путеводные нити и было источником радости и духовного подъема в периоды усиленного продвижения науки. Но мы ясно представляем себе, что, несмотря на все прочитанные и усвоенные тома, мы еще далеки от ее конца, если, конечно, такой конец вообще существует. В каждой стадии мы стремимся найти объяснение, находящееся в согласии с уже открытыми идеями. Теории, принятые в качестве пробных, объяснили много фактов, но никакого общего решения, совместимого со всем тем, что нам известно, пока еще не достигнуто. Очень часто совершенная на вид теория оказывалась неверной. Появляются новые факты, которые противоречат теории или же не объясняются ею. Чем больше мы читаем, тем более полно и высоко оцениваем совершенную конструкцию книги, хотя полная разгадка ее тайн кажется все удаляющейся по мере того, как мы продвигаемся вперед.

Со времени великолепных рассказов Конан-Дойля почти в каждой детективной новелле наступает такой момент, когда исследователь собрал все факты, в которых он нуждается, по крайней мере для некоторой фазы решения своей проблемы. Эти факты часто кажутся совершенно странными, непоследовательными и в целом не связанными. Однако великий детектив заключает, что в данный момент он не нуждается ни в каких дальнейших розысках и что только чистое мышление приведет его к установлению

связи между собранными фактами. Он играет на скрипке, или, развалившись в кресле, наслаждается трубкой, как вдруг, о, Юпитер, эта связь найдена! Он не только уже имеет в руках объяснение всех обстоятельств дела, но знает, какие другие определенные события должны были случиться. Так как теперь он совершенно точно знает, где искать их, он может, если ему хочется, идти собирать дальнейшие подтверждения своей теории.

Ученый, читая книгу природы, если нам позволено будет повторить эту банальную фразу, должен сам найти разгадку, потому что он не может, как это часто делает нетерпеливый читатель других повестей, обратиться к концу книги. В нашем случае читатель — это тоже исследователь, который ищет, как объяснить, хотя бы отчасти, связь событий между собой. Чтобы получить даже частичное решение этой задачи, ученый должен собирать неупорядоченные факты и своим творческим мышлением делать их связанными и понятными.

Наша цель — на последующих страницах описать в общих чертах, какова работа физиков, соответствующая чистому мышлению исследователя. Мы будем касаться главным образом роли мышления и идей в смелых исследованиях, имеющих целью познание физического мира.

Первая путеводная нить

Попытки прочесть великую повесть о тайнах природы так же стары, как и само человеческое мышление. Однако лишь немногим более трех столетий назад ученые начали понимать язык этой повести. С того времени, т. е. со времени Галилея и Ньютона, чтение продвигалось быстро. Развилась техника исследования, систематические методы отыскания и изучения руководящих идей. Были разрешены некоторые загадки природы, хотя многие решения в свете дальнейших исследований оказались временными и поверхностными.

Самая фундаментальная проблема, остававшаяся в течение тысячи лет неразрешенной из-за ее сложности, — это проблема движения. Все движения, которые мы встречаем в природе, — движение камня, брошенного в воздух, движение плывущего в море корабля, движение повозки, тянущейся вдоль улицы, — в действительности очень сложны. Чтобы понять все эти явления, лучше всего начать с наиболее простых возможных случаев и постепенно продвигаться к более сложным. Рассмотрим тело, находящееся в покое. Чтобы изменить положение такого тела, необходимо оказать некоторое воздействие на него, толкнуть или поднять, или заставить действовать на него другие тела, например лошадь или паровую машину. Наша интуиция связывает движение с такими действиями, как толчок или тяга. Повторение опыта заставило бы нас отважиться на дальнейшее утвер-

ждение, что если мы хотим, чтобы тело двигалось быстрее, мы должны толкать его сильнее.

Кажется естественным заключение, что чем сильнее действие, оказываемое на тело, тем больше будет его скорость. Карета, запряженная четверкой лошадей, движется быстрее, чем карета, запряженная парой. Таким образом, интуиция говорит нам, что скорость существенно связана с внешним воздействием.

Для читателей детективных романов привычно, что фальшивая нить запутывает повесть и отдаляет ее разрешение. Метод рассуждения, навязываемый интуицией, неверен и приводит к ложным идеям о движении, которые сохранялись в течение столетий. Может быть, главным основанием продолжительной веры в эту интуитивную идею повсюду в Европе был великий авторитет Аристотеля. В сочинении, в продолжение двух тысяч лет приписываемом ему, мы читаем:

«Движущееся тело останавливается, если сила, его толкающая, прекращает свое действие».

Открытие, сделанное Галилеем, и применение им методов научного рассуждения были одними из самых важных достижений в истории человеческой мысли, и это отмечает действительное начало физики. Это открытие учит нас тому, что интуитивным выводам, базирующимся на непосредственном наблюдении, не всегда можно доверять, так как они иногда ведут по ложному следу.

Но где интуиция ведет к ошибкам? Правильно ли сказать, что карета, запряженная четверкой лошадей, должна двигаться быстрее, чем запряженная только двумя?

Проверим ближе основные факты движения, начиная с простых повседневных опытов, хорошо известных человечеству с начала цивилизации и полученных в жестокой борьбе за существование.

Предположим, что некто, идущий по горизонтальной дороге с багажной тележкой, внезапно перестает ее толкать. Тележка будет двигаться еще некоторое время, пройдя небольшое расстояние, а затем остановится. Мы спрашиваем: как можно увеличить это расстояние? Для этого имеются различные способы, например смазывание колес или устройство более гладкой дороги. Чем легче вращаются колеса и чем ровнее дорога, тем дальше будет двигаться тележка. А что же дает смазывание колес или сглаживание неровностей пути? Только одно: становится меньше внешнее влияние. Уменьшается эффект, называемый трением, как в колесах, так и между колесами и дорогой. Это уже теоретическое толкование наблюдаемых данных, толкование, которое пока еще произвольно. Один важный шаг дальше, и мы попадем на правильный след. Представим себе совершенно гладкую дорогу и колеса, вовсе не имеющие трения. Тогда ничто не остановит

тележки и она будет катиться вечно. Этот вывод достигнут только размышлением об идеализированном эксперименте, который никогда не может быть осуществлен, так как невозможно исключить все внешние влияния. Этот идеализированный эксперимент указывает путь, на котором фактически были установлены основы механики движения.

Сравнивая оба подхода к проблеме, мы можем сказать, что интуитивная идея такова: чем больше воздействие, тем больше скорость. Таким образом, наличие скорости показывает, действуют ли на тело внешние силы.

Новый же путь, указанный Галилеем, таков: если ничто не толкает и не тянет тело или если на тело ничто не действует каким-либо другим образом, короче говоря, если на тело не действуют никакие силы, оно покоится или движется прямолинейно и равномерно, т. е. всегда с одинаковой скоростью по прямой. Следовательно, скорость сама по себе не показывает, действуют ли на тело внешние силы или нет. Правильный вывод Галилея был сформулирован спустя поколение Ньютоном в виде закона инерции. Этот закон — первое из физики, что мы обычно выучиваем в школе наизусть, и многие из нас могут его вспомнить:

Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если только оно не вынуждено изменять его по влиянию действующих сил.

Мы видели, что закон инерции нельзя вывести непосредственно из эксперимента, его можно вывести лишь умозрительно — мышлением, связанным с наблюдением. Этот идеализированный эксперимент никогда нельзя выполнить в действительности, хотя он ведет к глубокому пониманию действительных экспериментов.

Из многообразия сложных движений в окружающем нас мире мы выбираем в качестве первого примера прямолинейное и равномерное движение. Это движение — простейшее, ибо при этом на движущееся тело не действуют никакие внешние силы. Однако прямолинейное и равномерное движение никогда нельзя реализовать; камень, брошенный с башни, или тележка, толкаемая вдоль дороги, никогда не могут двигаться абсолютно прямолинейно и равномерно, потому что нельзя полностью исключить влияния внешних сил.

В хорошей детективной повести самые очевидные нити часто ведут к ложным подозрениям. В наших попытках понять законы природы мы подобным же образом находим, что самое очевидное интуитивное объяснение зачастую бывает ложным.

Человеческое мышление создает вечно изменяющуюся картину Гселенной.

Вклад Галилея в науку состоял в разрушении интуитивного воззрения и в замене его новым. В этом значение открытия Галилея.

Но немедленно же возникают дальнейшие вопросы о движении. Если показателем внешней силы, действующей на тело, является не скорость, то что же тогда? Ответ на этот фундаментальный вопрос был найден Галилеем, а вернее Ньютоном; он образует новую руководящую идею в наших исследованиях.

Чтобы найти правильный ответ, мы должны немного глубже вдуматься в опыт с тележкой на абсолютно гладкой дороге. Прямолинейность и равномерность движения в нашем идеализированном опыте были обязаны отсутствию всех внешних сил. Теперь представим себе, что прямолинейно и равномерно движущаяся тележка получает толчок в направлении движения. Что произойдет при этом? Очевидно, ее скорость увеличится. Так же очевидно, что толчок в направлении, противоположном направлению движения, должен уменьшить скорость. В первом случае движение тележки ускоряется толчком, во втором — замедляется. Вывод вытекает сразу же: действие внешней силы изменяет скорость. Таким образом, не сама скорость, а ее изменение есть следствие толчка или тяги. Сила либо увеличивает, либо уменьшает скорость, соответственно тому, действует ли она в направлении движения или в противоположном направлении. Галилей видел это ясно и написал в своем труде *«Беседы о двух новых науках»*:

«...степень скорости, обнаруживаемая телом, ненарушимо лежит в самой его природе, в то время как причины ускорения или замедления являются внешними; это можно заметить лишь на горизонтальной плоскости, ибо при движении по наклонной плоскости вниз наблюдается ускорение, а при движении вверх — замедление. Отсюда следует, что движение по горизонтали является вечным, ибо если оно является равномерным, то оно ничем не ослабляется, не замедляется и не уничтожается».

Идя по этому верному пути, мы достигаем более глубокого понимания проблемы движения. Основой классической механики, как она сформулирована Ньютоном, является связь между силой и изменением скорости, а не между силой и самой скоростью, как мы думали, согласно интуиции.

Мы использовали два понятия, играющих принципиальную роль в классической механике: силу и изменение скорости. В дальнейшем развитии науки оба эти понятия расширяются и обобщаются. Поэтому они должны быть исследованы подробнее.

Что такое сила? Интуитивно мы чувствуем, что именно обозначается этим термином. Это понятие возникает из усилия, которое мы производим при толчке, броске или тяге, из того мускульного ощущения, которое сопровождает все эти действия. Но обобщение этих понятий выходит далеко за пределы столь простых примеров. Мы можем думать о силе, даже не вообразив себе лошадь, тянущую повозку. Мы говорим о силе притяжения

между Солнцем и Землей, Землей и Луной и о таких силах, которые вызывают приливы и отливы. Мы говорим о силе, с которой Земля воздействует на все предметы вокруг нас, удерживая их в сфере своего влияния, и о силе ветра, создающей морские волны и приводящей в движение листья деревьев. Когда и где мы наблюдаем изменение скорости, тогда и там причиной этому является внешняя сила в самом общем смысле. Ньютон писал в своих *«Началах»*:

«Приложенная сила есть действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.

Сила проявляется единственно только в действии и по прекращению его в теле не остается. Тело продолжает затем удерживать свое новое состояние вследствие одной только (силы) инерции. Происхождение приложенной силы может быть различное: от удара, от давления, от центростремительной силы.

Если камень падает с вершины башни, его движение неравномерно, его скорость возрастает с падением. Мы заключаем, что в направлении движения действует внешняя сила или, другими словами, что Земля притягивает камень.

Возьмем другой пример. Что происходит, когда камень брошен вертикально вверх? Скорость уменьшается до тех пор, пока камень не достигнет своей наивысшей точки, после чего он начинает падать на Землю. Это уменьшение скорости вызывается той же силой, что и ускорение падающего тела. В одном случае сила действует в направлении движения, в другом случае — в противоположном. Сила одна и та же, но она вызывает возрастание скорости или замедление, соответственно тому, падает ли камень или он брошен вверх.

Векторы

Все движения, которые мы только что рассматривали, — *прямолинейные*, т. е. являются движениями по прямой линии. Теперь мы должны сделать дальнейший шаг. Мы приходим к пониманию законов природы, анализируя простейшие случаи и опуская в своих первых попытках все усложнения. Прямая линия проще, чем кривая. Однако рассмотрением только прямолинейного движения удовлетвориться невозможно. Движения Луны, Земли и планет — как раз те движения, к которым принципы механики применялись с таким блестящим успехом, — это все движения по кривым путям. Переход от прямолинейного движения к криволинейному приносит новые трудности. Мы должны иметь смелость побороть их, если мы хотим понять принципы классической механики, давшей нам первую руководящую идею и создавшей тем самым исходную точку для развития науки.

Рассмотрим другой идеализированный эксперимент, в котором совершенно гладкий шар катится по гладкому столу. Мы знаем, что если шару дан толчок, т. е. если к нему приложена внешняя сила, то его скорость изменится. Предположим теперь, что направление удара не совпадает с линией движения, как это имело место в примере с тележкой. Пусть удар направлен иначе, скажем, перпендикулярно к этой линии. Что происходит с шаром? Можно различать три стадии движения: начальное движение, действие силы и конечное движение, после того как сила перестала действовать. Согласно закону инерции, скорость как перед действием силы, так и после него, абсолютно постоянна. Но имеется различие между равномерным движением до и после действия силы: изменилось направление. Направление начального движения шара и направление действия силы перпендикулярны друг к другу. Конечное движение будет совершаться не по какой-либо одной из этих линий, а где-то между ними, ближе к направлению силы, если толчок силен, а начальная скорость мала, и ближе к первоначальной линии движения, если толчок незначителен, а начальная скорость велика. Наш новый вывод, основанный на законе инерции, таков: в общем случае действие внешней силы изменяет не только скорость, но и направление движения. Понимание этого факта подготавливает нас к обобщению, введенному в физику понятием *вектора*.

Мы можем продолжать применение нашего непосредственного метода рассуждения. Исходная идея — это опять галилеев закон инерции. Мы еще далеко не исчерпали следствий этой ценной руководящей идеи в решении загадки движения.

Рассмотрим два шара, движущихся в разных направлениях по гладкому столу. Для большей определенности предположим, что оба направления перпендикулярны друг другу. Так как никаких внешних сил нет, то движения шаров абсолютно равномерны. Предположим далее, что численно скорости их равны, т. е. оба шара за один и тот же промежуток времени покрывают одинаковое расстояние. Но правильно ли сказать, что оба шара имеют одинаковую скорость? Ответ может быть: либо да, либо нет! Если спидометры двух автомашин показывают 100 км/час, то обычно говорят, что они имеют одинаковую скорость, независимо от того, в каком направлении они движутся. Но наука для своих нужд должна создавать свой собственный язык, свои собственные понятия. Научные понятия часто начинаются с понятий, употребляемых в обычном языке повседневной жизни, но они развиваются совершенно иначе. Они преобразуются и теряют двусмысленность, связанную с обычным языком, они приобретают строгость, что и позволяет применять их в научном мышлении.

С физической точки зрения гораздо выгоднее сказать, что скорости двух шаров, движущихся в различных направлениях, различны. Хотя это дело чистого соглашения, но гораздо удобнее сказать, что четыре

автомашины, едущие из одного и того же пункта по различным дорогам, имеют не одну и ту же скорость, даже если численно скорости, зарегистрированные на их спидометрах, все равны сорока километрам в час. Это различие между скоростью, взятой по абсолютной величине, и скоростью, в которой учитывается направление, иллюстрирует, как физика, отправляясь от понятия, употребляемого в повседневной жизни, изменяет его таким путем, который оказывается плодотворным в дальнейшем развитии науки.

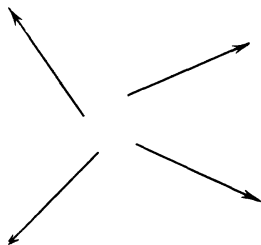


Рис. 1

Если величина измерена, то результат выражается некоторым числом единиц. Длина отрезка может быть равна 3 м 7 см, вес некоторого объекта равен 2 кг 3 г, измеренный промежуток времени — столько-то минутам или секундам. В каждом таком случае результат измерения выражается числом. Однако одного только числа недостаточно для описания некоторых физических понятий. Признание этого факта отмечает значительный успех в научном исследовании. Направление, так же как и число, существенно, например, для характеристики скорости. Такая величина, обладающая и числовым значением и направлением, называется *вектором*. Обычный символ для него — стрелка. Скорость может быть представлена стрелкой или, короче говоря, вектором, длина которого в некотором избранном масштабе единиц выражает численное значение скорости, а направление — есть направление движения.

Если четыре автомашины расходятся с численно одинаковой скоростью из одного пункта, то их скорости могут быть представлены четырьмя векторами одинаковой длины, как это видно на рис. 1. В избранном масштабе 1 см соответствует 40 км/час. Таким путем любая скорость может быть обозначена вектором и, наоборот, если известен масштаб, то из такой векторной диаграммы может быть установлена скорость.

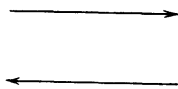


Рис. 2

Если две автомашины проходят по автостраде мимо друг друга и их спидометры показывают 100 км/час, то мы характеризуем их скорости двумя различными векторами со стрелками, заостренными в противоположных направлениях (рис. 2). Точно так же и у стрелок, указывающих направление «в город» и «из города» в нью-йоркском метро, острия торчат в противоположных направлениях. Но все поезда, идущие в город с численно равной скоростью, имеют одинаковую скорость и по направлению, которая может

быть представлена одним и тем же вектором. Однако вектор ничего не говорит о том, какую станцию поезд проходит или по какому из многих путей он идет. Другими словами, согласно выбранному условию все такие векторы, какие изображены на рис. 3, можно считать равными: они лежат либо вдоль одной и той же линии, либо вдоль ей параллельных и имеют стрелки, заостренные в том же самом направлении. На следующем рисунке (рис. 4) показаны различные векторы, ибо они различаются либо по

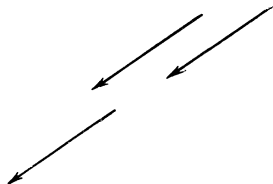


Рис. 3

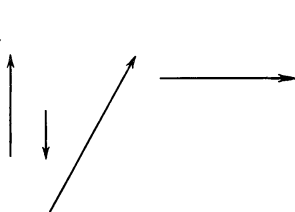


Рис. 4

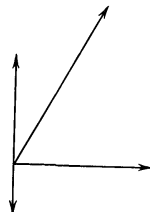


Рис. 5

длине, либо по направлению, либо по тому и другому одновременно. Те же самые четыре вектора можно нарисовать другим путем, так, чтобы все они выходили из одной точки (рис. 5). Так как исходная точка не существенна, то эти векторы могут представлять скорости четырех автомашин, движущихся из одного пункта, либо же скорости четырех автомашин в различных частях страны, путешествующих с указанными скоростями в указанных направлениях.

Это векторное представление можно применить к описанию обсуждавшихся ранее фактов прямолинейного движения. Мы говорили о тележке, движущейся равномерно по прямой и получающей толчок в направлении ее движения, который увеличивает ее скорость. Графически это можно представить двумя векторами: коротким, обозначающим скорость до толчка, и длинным, имеющим то же направление и обозначающим скорость после толчка (рис. 6). Значение пунктирного вектора ясно. Он представляет собой изменение скорости, вызванное толчком. В случае, когда сила направлена против движения и движение замедляется, диаграмма выглядит иначе (рис. 7). Пунктирный вектор опять соответствует изменению скорости, но в этом случае его направление иное. Ясно, что не только сами скорости, но и их изменения — тоже векторы. Но всякое изменение скорости вызвано внешней силой; следовательно, и сила должна быть представлена тоже вектором. Для того чтобы характеризовать силу, недостаточно уста-

новить, с каким усилием мы толкаем тележку; мы должны также сказать, в каком направлении мы толкаем. Сила, как и скорость, и ее изменение, должна быть представлена вектором, а не только одним числом. Поэтому внешняя сила — это тоже вектор, который должен иметь то же направление, что и изменение скорости. На обоих рисунках пунктирные векторы показывают как направление силы, так и изменение скорости.

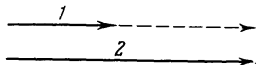


Рис. 6

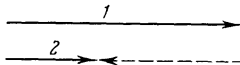


Рис. 7

Здесь скептик может заметить, что он не видит никакого преимущества от введения векторов. Все, что было сделано, — это перевод признанных ранее фактов на необычный и сложный язык. В этой стадии, в самом деле, было бы трудно убедить скептика, что он неправ. Пока он действительно прав. Но мы увидим, что именно этот странный язык приводит к важным обобщениям, в которых векторы оказываются существенными.

Загадка движения

До тех пор, пока мы имеем дело с прямолинейным движением, мы далеки от понимания движений, наблюдаемых в природе. Мы должны рассмотреть криволинейные движения. Наш следующий шаг — определить законы, управляющие такими движениями. Это нелегкая задача.

В случае прямолинейного движения понятия скорости, изменения скорости и силы оказались чрезвычайно полезными. Но мы не видим непосредственно, как можно применить их к случаю криволинейного движения. В самом деле, можно представить себе, что старые понятия окажутся непригодными для описания движения в общем случае и что нужно создать новые понятия. Следует ли нам пробовать идти старыми путями или нужно искать новые?

Обобщение понятий — процесс, часто применяемый в науке. Метод обобщения не определен однозначно, ибо обычно существует множество путей его осуществления. Однако при всяком обобщении должно быть строго удовлетворено одно требование: любое обобщенное понятие должно сводиться к первоначальному, когда выполнены первоначальные условия.

Лучше всего это можно объяснить на примере, с которым мы имеем дело теперь. Мы можем попытаться обобщить прежние понятия скорости, изменения скорости и силы для случая движения вдоль кривой. Когда мы говорим о кривой, мы включаем в это понятие и прямую. Прямая есть

самый простой пример кривой. Поэтому, если скорость, изменение скорости и сила введены для движения по кривой, то они тем самым автоматически вводятся и для движения по прямой. Но этот результат не должен противоречить результатам, полученным раньше. Если кривая становится прямой, то все обобщенные понятия должны свестись к обычным понятиям, описывающим прямолинейное движение. Но это ограничение недостаточно, чтобы однозначно определить обобщение. Оно явно



Рис. 8

оставляет многие возможности. История науки показывает, что самые простые обобщения иногда оказываются удачными, а иногда нет. Мы должны сперва делать догадки. В нашем случае нетрудно найти правильный метод обобщения. Новые обобщенные понятия оказываются очень удачными и помогают нам понять как движение брошенного камня, так и движение планет.

Что же означают слова «скорость», «изменение скорости» и «сила» в общем случае криволинейного движения? Начнем со скорости. Пусть вдоль кривой слева направо движется очень маленькое тело (рис. 8). Такое маленькое тело часто называют *частицей*. Точка на кривой на нашем рисунке показывает положение частицы в некоторый момент времени. Какова скорость, соответствующая этому моменту времени и положению? Опять руководящая идея Галилея выводит нас на тот путь, каким введена скорость. Мы должны еще раз использовать свое воображение и представить себе идеализированный эксперимент. Частица движется вдоль кривой слева направо под влиянием внешних сил. Представим себе, что в данный момент времени в точке, отмеченной на рисунке, все эти силы внезапно перестают действовать. Тогда, согласно закону инерции, движение должно быть равномерным и прямолинейным. Практически мы, конечно, никогда не можем полностью освободить тело от внешних влияний. Мы можем только сделать предположение: «что должно произойти, если...» и судить об уместности нашего предположения с помощью заключений, которые можно из него сделать, и проверки согласия этих заключений с экспериментом.

Вектор на рис. 9 указывает предполагаемое направление равномерно-го движения в случае, если бы все внешние силы исчезли. Это так называемое тангенциальное, или касательное, направление. Если смотреть на движущуюся частицу через микроскоп, то можно увидеть очень неболь-

шую часть ее пути, представляющуюся в виде небольшого, едва искривленного отрезка. Касательная линия является его продолжением. Нарисованный таким образом вектор представляет скорость в данный момент. Вектор скорости лежит на касательной. Его длина представляет собой численную величину скорости или ту скорость, которая указывается, например, спидометром автомашины.



Рис. 9

Наш идеализированный эксперимент, в котором уничтожены силы для того, чтобы найти вектор скорости, нельзя принимать слишком серьезно. Он только помогает нам понять, что мы должны называть вектором скорости при криволинейном движении, и позволяет нам определить его для данного момента в данной точке.

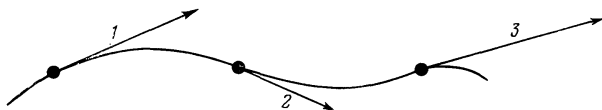


Рис. 10

На рис. 10 показаны векторы скорости для трех различных положений частицы, движущейся вдоль кривой. В этом случае во время движения меняются не только направления, но и величины скорости, как показывает длина векторов.

Удовлетворяет ли это новое понятие скорости требованию, сформулированному для всех обобщений? Иначе говоря, сводится ли оно к прежнему понятию скорости, если кривая становится прямой? Очевидно, да. Касательная к прямой есть сама прямая. Вектор скорости лежит на линии движения, так же как это было в случае движущейся тележки или катящегося шара.

Следующий шаг — это введение изменения скорости частицы, движущейся вдоль кривой. Оно также может быть выполнено различными пу-

тиями, из которых мы выберем самый простой и удобный. Рис. 10 показывал несколько векторов скоростей, представляющих движение вдоль кривой, в разных точках. Первые два из них можно опять нарисовать так, чтобы они имели общую исходную точку (рис. 11), что, как мы видели, возможно проделывать с векторами. Пунктирный вектор мы называем изменением скорости. Его начальная точка представляет собой конец первого вектора, а конечная точка — конец второго вектора. Этим и определено изменение скорости. Такое определение может, на первый взгляд,

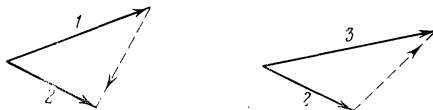


Рис. 11

показаться искусственным и бессмысленным. Оно становится гораздо яснее в частном случае, в котором векторы 1 и 2 имеют одинаковое направление (рис. 12). Конечно, это означает переход к случаю прямолинейного движения. Если оба вектора имеют одну и ту же начальную точку, то пунктирный вектор опять связывает их конечные точки. Рис. 12 совпадает

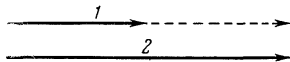


Рис. 12

с рис. 6 на стр. 370, а прежнее понятие оказывается частным случаем нового понятия. Следует заметить, что мы должны были разделить обе линии на рисунке, ибо иначе они совпали бы и стали бы неразличимыми.

Теперь мы должны сделать последний шаг в процессе обобщения. Это будет самой важной из всех догадок, которые мы сделали до сих пор. Связь между силой и изменением скорости должна быть установлена так, чтобы можно было найти путеводную нить, которая поможет нам понять общие проблемы движения.

Путь к объяснению движения вдоль прямой был весьма прост: внешняя сила вызывает изменение скорости; вектор силы имеет то же направление, что и изменение скорости. Но что теперь следует выбрать в качестве путеводной нити в случае криволинейного движения? Совершенно то же самое! Единственное различие в том, что изменение

скорости понимается теперь в более общем смысле, чем раньше. Достаточно взглянуть на пунктирные вектора (рис. 11 и 12), чтобы все стало ясно. Если скорость известна для всех точек кривой, то направление силы в любой точке может быть найдено сразу же. Нужно нарисовать векторы скорости для двух моментов, отделенных очень короткими интервалами времени, а стало быть, соответствующих положениям, очень близким друг

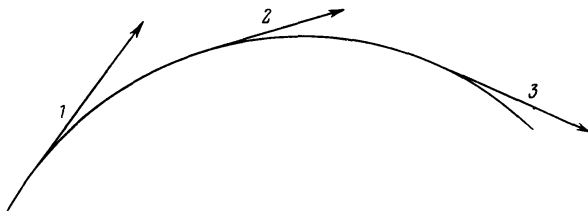


Рис. 13

к другу. Вектор, проведенный из конца первого вектора к концу второго, показывает направление действующей силы. Но существенно, что оба вектора скорости должны быть отделены лишь «очень коротким» интервалом времени. Строгий анализ таких слов, как «очень близкий», «очень короткий», далеко не прост. Именно этот анализ привел Ньютона и Лейбница к открытию дифференциального исчисления.



Рис. 14

Путь, который привел к обобщению идеи Галилея, длинен и извилист. Мы не можем показать здесь, сколь избыточными и плодотворными оказались последствия этого обобщения. Его применение приводит к простому и удобному объяснению многих явлений, которые считались несвязанными друг с другом и истолковывались неправильно.

Из всего разнообразия движений мы возьмем лишь самое простое и применим к его объяснению только что сформулированные законы.

Пуля, выпущенная из ружья, камень, брошенный под углом к горизонту, струя воды, выходящая из трубы, — все они описывают хорошо известную траекторию одного и того же типа — параболу. Вообразим себе, например, что к камню прикреплен спидометр, так что вектор скорости камня может быть определен для любого момента. Результат представлен на рис. 13. Направление действующей на камень силы совершенно такое же, как и направление изменения скорости; мы уже видели, как его можно определить. Рис. 14 показывает, что сила вертикальна и направлена вниз. Совершенно то же самое мы видим, рассматривая движение камня, брошенного с вершины башни. Пути, а также и скорости, совершенно различны, но изменения скоростей имеют одинаковое направление — к центру Земли.

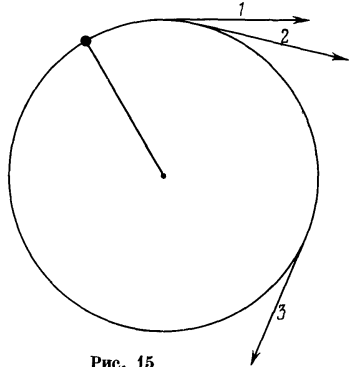


Рис. 15

Камень, привязанный к веревке и вращающийся в горизонтальной плоскости, движется по окружности. Все векторы на диаграмме, представляющей это движение, имеют одинаковую длину, если величина скорости постоянна (рис. 15). Тем не менее вектор скорости непрерывно меняется, так как траектория не прямолинейна. Только в случае равномерного прямолинейного движения не действуют никакие силы. Здесь же сила налицо, и скорость изменяется, но не по величине, а по направлению. Согласно закону движения, должна существовать некоторая сила, вызывающая это изменение; в данном случае сила действует между камнем и рукой, держащей веревку.

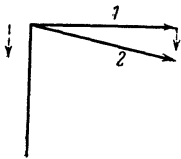


Рис. 16

Сразу же возникают дальнейшие вопросы: в каком направлении действует сила? Опять векторная диаграмма дает ответ. На рис. 16 даны векторы скоростей для двух очень близких точек и найдено ускорение. Видно, что вектор ускорения должен быть направлен вдоль веревки к центру окружности и всегда перпендикулярен вектору скорости или касательной. Другими словами, рука через веревку воздействует с некоторой силой на камень.

Совершенно аналогичен и более важный пример — обращение Луны вокруг Земли. Обращение Луны можно считать приблизительно равномер-

ным круговым движением. Сила, действующая на Луну, направлена к Земле, по тем же причинам, по которым в предыдущем примере она была направлена к руке. Никакой веревки, связывающей Луну и Землю, нет, но мы можем представить себе линию между центрами обоих тел; сила направлена по этой линии к центру Земли, как и сила, действующая на камень, подброшенный над землей или падающий с башни.

Все, что мы сказали, о движении, можно суммировать в одном предложении. *Сила и изменение скорости суть векторы, имеющие одно и то же направление.* Это чрезвычайно важная исходная идея, но она недостаточна для полного объяснения всех наблюдаемых движений. Переход от аристотелева образа мышления к галилееву положил самый важный краеугольный камень в обоснование науки. Прорыв был сделан, линия дальнейшего развития стала ясна. Нас во всем этом интересует первый этап развития; интересно следовать за первыми шагами, показать, как рождаются новые физические понятия в жестокой борьбе со старыми идеями. Мы касались только новаторских работ в науке, состоящих в нахождении новых и неожиданных путей развития; мы касались только прогресса в научной мысли, создающей вечно изменяющуюся картину мира. Начальные и основополагающие шаги всегда имеют революционный характер. Научное воображение находит старые понятия слишком ограниченными и заменяет их новыми. Развитие, продолжающееся по какой-либо уже принятой линии, эволюционно до тех пор, пока не достигается следующий поворотный пункт, где должно быть завоевано новое поле исследования. Но чтобы понять, какие основания и какие трудности вызывают изменение основных понятий, мы должны знать не только исходные руководящие идеи, но и выводы, которые могут быть из них сделаны.

Одна из наиболее важных характерных черт современной физики состоит в том, что выводы, сделанные из исходных идей, имеют не только качественный, но и количественный характер. Рассмотрим опять камень, падающий с башни. Мы видели, что его скорость возрастает по мере того, как он падает, но мы хотели бы знать гораздо больше. А именно: каково это изменение? Каковы положение и скорость камня в любой момент после того, как он начал падать? Нам хочется уметь предсказывать события и определять с помощью эксперимента, подтверждает ли наблюдение эти предсказания, а тем самым и исходные положения.

Чтобы сделать количественные выводы, мы должны использовать математический язык. Самые фундаментальные идеи науки по существу своему просты и, как правило, могут быть выражены языком, понятным каждому. Но чтобы охватить всю совокупность следствий, выводимых из той или иной общей идеи, требуется знание очень тонкой техники исследования. И если мы хотим сделать выводы, которые можно сравнить с результатами эксперимента, нам необходима математика как орудие исследо-

вания. Поскольку мы касаемся только фундаментальных физических идей, мы можем избежать языка математики. Так как в этой книге мы проводим это последовательно, мы должны иногда ограничиваться ссылкой без доказательств на некоторые результаты, необходимые для понимания важных аргументов, возникающих в дальнейшем развитии. Этот отказ от математического языка оплачивается потерей в точности и необходимостью временами ссылаться на результаты без указания на то, как они были достигнуты.

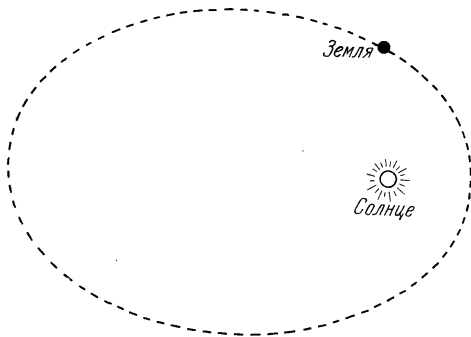


Рис. 17

Очень важный пример движения — движение Земли вокруг Солнца. Известно, что ее путь представляет собой замкнутую кривую, называемую эллипсом (рис. 17). Построение векторной диаграммы изменения скорости показывает, что сила, действующая на Землю, направлена к Солнцу. Но после всего сказанного — это скучная информация. Нам хотелось бы уметь предсказывать положение Земли и других планет для любого произвольного момента времени. Нам хотелось бы предсказать дату и продолжительность следующего солнечного затмения и многие другие астрономические события. Все это возможно сделать, но не на основе одной только исходной идеи, указанной выше, ибо необходимо знать не только направление силы, но и ее абсолютное значение, ее величину. Вдохновенной догадкой об этом мы обязаны Ньютону. Согласно его *закону тяготения*, сила притяжения между двумя телами весьма просто зависит от расстояния их друг от друга: она уменьшается, когда увеличивается расстояние. Когда расстояние удваивается, она уменьшается в $2 \times 2 = 4$ раза;

когда расстояние увеличивается в три раза, она уменьшается в $3 \times 3 = 9$ раз.

Таким образом, мы видим, что в случае силы тяготения нам удалось выразить в простой форме зависимость силы от расстояния между движущимися телами. Подобным же образом мы поступаем во всех иных случаях, когда действуют силы других видов, например электрические, магнитные и другие силы. Мы стремимся дать для силы простое выражение. Такое выражение оправдывается лишь в том случае, когда из него можно сделать выводы, подтверждаемые экспериментом.

Но знание одной только силы тяготения недостаточно для описания движения планеты. Мы видели, что векторы, представляющие силу и изменение скорости, для любого короткого промежутка времени имеют одно и то же направление, но мы должны вслед за Ньютоном сделать еще один шаг, предположив простое отношение между их длинами. Если взять все другие условия одинаковыми, т. е. исследовать движение одного и того же тела, и изменения скорости рассматривать через одинаковые промежутки времени, то, по Ньютону, изменение скорости пропорционально силе.

Таким образом, для количественных заключений о движении планет необходимы два дополнительных предположения. Одно — общего характера, устанавливающее связь между силой и изменением скорости. Другое — специального: оно устанавливает точную зависимость частного вида рассматриваемой силы от расстояния между телами. Первое — это общий закон движения Ньютона, второе — его закон тяготения. Совместно они определяют движение планет. Это можно сделать ясным при помощи следующего, несколько неуклюже звучащего рассуждения. Предположим, что в данный момент как положение, так и скорость планеты могут быть определены и что сила известна. В таком случае, согласно закону Ньютона, мы узнаем изменение скорости за очень короткий промежуток времени. Зная начальную скорость и ее изменение, мы можем найти скорость и положение планеты в конце указанного промежутка времени. Повторяя этот процесс, мы можем проследить весь путь движения, не прибегая в дальнейшем к помощи начальных данных. Однако метод, примененный здесь, практически весьма неудобен. Практически такая последовательная процедура была бы столь же скучна, сколь и не точна. К счастью, она не является необходимой: математика дает нам более короткий путь и делает возможным точное описание движения, на которое нужно гораздо меньше чернил, чем мы употребляем для написания одной только фразы. Достигнутые таким путем выводы могут быть доказаны или опровергнуты наблюдением.

Внешнюю силу того же вида, что и в рассмотренном примере движения Земли, можно обнаружить и в движении камня, падающего на Землю,

и во вращении Луны по ее орбите; это — сила земного притяжения материальных тел. Ньютон установил, что движение падающих камней, движение Луны и планет — это только очень специальные проявления универсальной силы тяготения, действующей между двумя любыми телами. В простых случаях движение может быть описано и предсказано с помощью математики. В отдельных чрезвычайно сложных случаях, когда рассматривается действие многих тел друг на друга, математическое описание не так просто, но основные принципы те же самые.

Мы находим, что выводы, к которым мы пришли, следуя нашей исходной руководящей идее, осуществляются в движении брошенного камня, в движении Луны, Земли и планет.

Такова фактически вся наша система положений, которая должна быть доказана или опровергнута экспериментом. Ни одно из положений не может быть выделено для самостоятельного испытания. Найдено, что в отношении планет, движущихся вокруг Солнца, система механики действует блестяще. Тем не менее мы легко можем представить себе, что другая система механики, основанная на других предпосылках, может оказаться столь же хорошей.

Физические понятия суть свободные творения человеческого разума, а не определены однозначно внешним миром, как это иногда может показаться. В нашем стремлении понять реальность мы отчасти подобны человеку, который хочет понять механизм закрытых часов. Он видит циферблат и движущиеся стрелки, даже слышит тиканье, но он не имеет средств открыть их корпус. Если он остроумен, он может нарисовать себе некую картину механизма, которая отвечала бы всему, что он наблюдает, но он никогда не может быть вполне уверен в том, что его картина единственная, которая могла бы объяснить его наблюдения. Он никогда не будет в состоянии сравнить свою картину с реальным механизмом, и он не может даже представить себе возможность или смысл такого сравнения. Но он, конечно, уверен в том, что по мере того как возрастает его знание, его картина реальности становится все проще и проще и будет объяснять все более широкий ряд его чувственных восприятий. Он может также верить в существование идеального предела знаний и в то, что человеческий разум приближает этот предел. Этот идеальный предел он может назвать объективной истиной.

Еще одна нить

У впервые изучающих механику создается впечатление, что все в этой ветви науки просто, основательно и сохраняется на все времена. Едва ли кто-нибудь подозревал существование новой важной руководящей идеи, которая никем не была замечена в течение трех столетий. Эта оставшаяся

вне поля зрения идея связана с одним из фундаментальных понятий механики — с понятием *массы*.

Вернемся снова к идеализированному эксперименту, а именно: к тележке на совершенно гладкой поверхности. Если тележка вначале находится в покое, а затем получает толчок, она будет двигаться прямолинейно и равномерно с определенной скоростью. Предположим, что воздействие силы на покоящуюся тележку можно по желанию повторять сколько угодно раз: следовательно, механизм, производящий толчки, действует каждый раз одинаково и возбуждает одинаковую силу, действующую на одну и ту же тележку. Однако, сколько бы ни повторялся эксперимент, конечная скорость тележки будет всегда одна и та же. Но что случится, если эксперимент изменится, если раньше тележка была пустая, а теперь она нагружена? Нагруженная тележка будет иметь меньшую конечную скорость, чем пустая. Вывод таков: если одна и та же сила действует на два различных тела, причем оба вначале покоятся, то результирующие скорости будут неодинаковыми. Мы говорим, что конечная скорость зависит от массы тела, она меньше, если масса тела больше.

Поэтому мы знаем, по крайней мере в теории, как определить массу тела или, точнее, как определить, во сколько раз одна масса больше другой. Пусть одинаковые силы действуют на две покоящиеся массы. Найдя, что скорость первой массы в три раза больше, чем скорость второй, мы заключаем, что первая масса в три раза меньше второй. Конечно, это не очень удобный путь определения отношения двух масс. Тем не менее мы легко можем представить, что это можно сделать либо указанным, либо аналогичным путем, основанным на применении закона инерции.

Как же мы фактически определяем массу на практике? Конечно, не таким методом, какой только что описан. Каждый знает, каков правильный ответ. Мы определяем ее посредством взвешивания на весах.

Обсудим подробнее два различных пути определения массы.

Первый эксперимент не имеет ничего общего с тяжестью, притяжением к Земле. Тележка, получив толчок, движется по абсолютно гладкой горизонтальной плоскости. Сила тяжести, заставляющая тележку оставаться на плоскости, не изменяется и не играет никакой роли в определении массы. Это определение массы отличается от взвешивания. Мы никогда не могли бы применять весы, если бы Земля не притягивала тела, если бы не существовала тяжесть. Различие между обоими определениями масс состоит в том, что первое никак не связано с существованием силы тяжести, в то время как второе целиком основано на ее существовании.

Мы спрашиваем: если мы определяем отношение двух масс обоими путями, описанными выше, то получаем ли мы одинаковый результат? Ответ, данный экспериментом, совершенно ясен. Результаты точно одинаковы! Этот вывод нельзя было бы предугадать: он основывается на наблюдении,

а не на рассуждении. Назовем, ради простоты, массу, определенную первым путем, *инертной массой*, а массу, определенную вторым путем, *тяжелой массой*. В нашем мире они равны, но мы легко могли бы представить себе случай, когда они были бы разными. Немедленно возникает другой вопрос: является ли это равенство обеих масс чисто случайным или же оно имеет более глубокий смысл? С точки зрения классической физики ответ таков: равенство обеих масс случайно, и нет никакого смысла придавать этому факту большое значение. Ответ современной физики совершенно противоположен: равенство обеих масс имеет фундаментальный смысл и составляет новую, весьма существенную руководящую идею, ведущую к более глубокому познанию мира. Действительно, это была одна из самых важных идей, из которых развивалась так называемая общая теория относительности.

Мы не очень высоко оцениваем детективную повесть, если в ней загадочные события сводятся к простому случаю. Конечно, нас больше удовлетворила бы повесть, в которой все объяснялось рационально. Точно так же и теория, которая дает объяснение равенства тяжелой и инертной масс, превосходит теорию, трактующую их равенство как некоторую случайность, конечно, если обе эти теории одинаково удовлетворяют наблюдаемым фактам.

Так как это равенство инертной и тяжелой масс было фундаментальной для формулировки теории относительности, мы остановимся здесь подробнее на ее проверке. Какие эксперименты убедительно доказывают, что обе массы одинаковы? Ответ заключается в старом эксперименте Галилея, в котором он бросал тела различной массы с башни. Он заметил, что время, которое требовалось для падения, было всегда одинаково, т. е. движение падающего тела не зависит от массы. Чтобы связать этот простой, но чрезвычайно важный экспериментальный результат с наличием равенства обеих масс, необходимы более сложные рассуждения.

Поддаваясь действию внешней силы, покоящееся тело приходит в движение и достигает некоторой скорости. Оно уступает действию силы более или менее легко, соответственно его инертной массе, сильнее сопротивляясь изменению движения тогда, когда масса велика, чем тогда, когда она мала. Не претендуя на строгость, мы можем сказать: готовность, с какою тело отзывается на воздействие внешней силы, зависит от его инертной массы. Если бы Земля притягивала все тела с одинаковой силой, то самая большая масса должна была бы двигаться медленнее при падении, чем любая другая. В действительности же все тела падают одинаково. Это означает, что сила, с которой Земля притягивает различные массы, различна. Так, Земля, притягивая камень с некоторой силой, ничего не знает об его инертной массе. «Призывная» сила Земли зависит от тяжелой массы. «Ответное» движение камня зависит от инертной массы. Так как

«ответное» движение всегда одинаково — все тела падают с одной и той же высоты одинаково, — то отсюда вытекает, что тяжелая и инертная массы равны.

То же самое заключение физик формулирует более педантично: ускорение падающего тела возрастает пропорционально его тяжелой массе, а убывает пропорционально его инертной массе. Так как все падающие тела имеют одно и то же постоянное ускорение, то обе массы должны быть равны.

В нашей повести о великих тайнах природы нет проблем, полностью разрешенных и установленных на все времена. Три сотни лет спустя мы должны были вернуться к первоначальной проблеме движения, исправить процедуру исследования, найти руководящую идею, которая не была ранее найдена, и тем самым построить новую картину окружающего нас мира.

Является ли теплота субстанцией?

Здесь мы начинаем исследовать новую руководящую идею, возникшую в области тепловых явлений. Однако невозможно разделить науку на отдельные несвязанные разделы. В самом деле, мы скоро увидим, что введенные здесь новые понятия тесно переплетаются с понятиями, уже известными, и с понятиями, которые мы еще встретим. Ход мыслей, развитый в одной ветви науки, часто может быть применен к описанию явлений, с виду совершенно отличных. В этом процессе первоначальные понятия часто видоизменяются, чтобы продвинуть понимание как явлений, из которых они произошли, так и тех, к которым они вновь применены.

Самые основные понятия в описании тепловых явлений — *температура* и *теплота*. В истории науки потребовалось чрезвычайно много времени для того, чтобы оба эти понятия были разделены, но когда это разделение было произведено, оно вызвало быстрый прогресс науки. Хотя эти понятия теперь известны каждому, мы исследуем их подробнее, подчеркнув различие между ними.

Наше чувство осязания совершенно определенно сообщает нам, что одно тело теплое, а другое — холодное. Но это чисто качественный критерий, недостаточный для количественного описания, а иногда даже двусмысленный. Это подтверждается хорошо известным экспериментом: пусть мы имеем три сосуда, содержащих относительно холодную, теплую и горячую воду. Если мы опустим одну руку в холодную воду, а другую — в горячую, то получим ощущение, что первая вода холодная, а вторая — горячая. Если затем мы опустим обе руки в теплую воду, то мы получим два противоречивых ощущения. На этом же основании жители северных и экваториальных стран, встречаясь в Нью-Йорке в весенний день, держа-

лись бы различных мнений о том, теплая или холодная была погода в момент их встречи. Мы разрешаем все эти вопросы применением термометра, инструмента, спроектированного в примитивной форме Галилеем. (Опять то же замечательное имя!) Применение термометра основано на некоторых очевидных физических предположениях. Мы напомним о них, приведя несколько строк из лекции, прочитанной около ста сорока лет тому назад Блэком, который много способствовал делу разъяснения трудностей, связанных с обоими понятиями — понятием теплоты и понятием температуры.

«Благодаря применению этого инструмента мы узнали, что если мы возьмем тысячу или более различных видов вещества, таких, как металлы, камни, соли, дерево, перья, шерсть, вода и многообразие других жидкостей, причем все они вначале будут различной *теплоты*, поместим их вместе в одну и ту же комнату без огня и без солнечного света, то теплота будет передаваться от более горячего из этих тел к более холодному, может быть, в течение нескольких часов или в течение дня, а в конце этого времени термометр, последовательно приложенный ко всем телам, покажет точно одну и ту же степень нагретости».

Выделенное курсивом слово *теплота* согласно теперешней терминологии должно быть заменено словом *температура*.

Врач, рассматривая термометр, с помощью которого он измерял температуру больного, может рассуждать приблизительно так: «Термометр показывает свою собственную температуру длиной своего ртутного столбика. Мы предполагаем, что длина ртутного столбика возрастает пропорционально возрастанию температуры. Но термометр был в течение нескольких минут в соприкосновении с моим пациентом, так что и пациент, и термометр имеют одну и ту же температуру. Поэтому я заключаю, что температура моего пациента та же, что и температура, зарегистрированная термометром». Доктор, вероятно, действует механически, но он применяет физические законы, не рассуждая о них.

Но содержит ли термометр то же самое количество теплоты, что и тело человека? Конечно, нет. Предположить, что два тела содержат одинаковое количество теплоты, только потому, что их температуры одинаковы, значит, как заметил Блэк,

«держаться очень поспешного взгляда о предмете. Это означает смешивание количества теплоты в различных телах с ее общей силой или интенсивностью, хотя ясно, что это — неодинаковые вещи, которые всегда следует различать, когда мы рассуждаем о распределении теплоты».

Это различие становится понятным из рассмотрения очень простого эксперимента. Чтобы изменить температуру килограмма воды от комнатной температуры до точки кипения, необходимо некоторое время. Гораздо большее время требуется для нагревания двенадцати килограммов воды

в том же сосуде на том же пламени. Мы истолковываем этот факт как указание на то, что теперь требуется больше «чего-то», и это «что-то» мы называем *теплотой*.

Следующее важное понятие — *удельная теплоемкость* — получено из следующего эксперимента: пусть один сосуд содержит килограмм воды, а другой — килограмм ртути, и пусть оба нагреваются одинаковым образом. Ртуть станет горячей гораздо скорее, чем вода, тем самым показывая, что необходимо меньше «теплоты», чтобы поднять температуру ртути на один градус. Вообще говоря, для того чтобы нагреть на один градус, скажем, от четырех до пяти градусов по Цельсию различные вещества, такие, как вода, ртуть, железо, медь, дерево и т. д., все одинаковой массы, требуются различные количества «теплоты». Мы говорим, что каждое вещество имеет свою *удельную теплоемкость*.

Придя к понятию теплоты, мы можем исследовать его природу ближе. Пусть мы имеем два тела: одно горячее, а другое холодное, или точнее, одно тело более высокой температуры, чем другое. Установим между ними контакт и освободим их от всех других внешних влияний. Мы знаем, что в конечном итоге они достигнут одной и той же температуры. Но как это получается? Что происходит с того времени, когда они приведены в соприкосновение, до достижения ими одинаковой температуры? На ум приходит картина течения теплоты от одного тела к другому, аналогично тому, как вода течет с более высокого уровня к низшему. Эта, хотя и примитивная, картина оказывается соответствующей многим фактам, так что можно провести аналогию:

Вода ↔ Теплота

Более высокий уровень ↔ Более высокая температура

Более низкий уровень ↔ Более низкая температура.

Течение продолжается до тех пор, пока оба уровня, т. е. обе температуры, не сравняются. Этот наивный взгляд можно сделать более полезным для количественного рассмотрения. Если смешиваются вместе определенные массы воды и спирта, каждая при определенной температуре, знание теплоемкостей позволяет предсказать конечную температуру смеси. Наоборот, наблюдение конечной температуры и небольшое знание алгебры позволяют нам найти отношение двух теплоемкостей.

Мы приходим к понятию теплоты, которое оказывается здесь похожим на другие физические понятия. Согласно нашему взгляду, теплота — это субстанция, такая же, как и масса в механике. Ее количество может либо изменяться, либо же оставаться постоянным, подобно деньгам, которые можно либо отложить в сейф, либо же истратить. Количество денег в сейфе будет оставаться неизменным до тех пор, пока сейф остается закрытым; точно так же будут неизменными количества массы и теплоты в изолиро-

ванном теле. Идеальный дорожный термос аналогичен такому сейфу. Больше того, как масса в изолированной системе остается неизменной, даже если происходит химическое превращение, так же и теплота сохраняется даже в том случае, когда она переходит от одного тела к другому. Даже если теплота употребляется не на повышение температуры тела, а, скажем, на таяние льда или на превращение воды в пар, мы можем по-прежнему думать о ней как о субстанции, так как можем снова получить ее при замерзании воды или при конденсации пара. Старые названия — скрытая теплота плавления или испарения — показывают, что эти понятия получены из представления о теплоте как о субстанции. Скрытая теплота временно скрывается, подобно деньгам, положенным в сейф, но ее можно использовать, если известен запирающий механизм.

Но теплота, разумеется, не субстанция в том же смысле как масса. Массу можно взвесить на весах, а можно ли взвесить теплоту? Весит ли кусок железа больше, когда он докрасна нагрет, по сравнению с тем, когда он холоден как лед? Эксперимент показывает, что нет. Если теплота — субстанция, то она — невесомая субстанция. «Тепловая субстанция» обычно называлась (*теплородом*; через него мы впервые знакомимся с целым семейством невесомых субстанций. Позднее мы будем иметь случай проследить историю этого семейства, его подъем и падение. Теперь же достаточно отметить зарождение отдельного члена этого семейства.

Цель всякой физической теории — объяснить максимально широкую область явлений. Она оправдывается постольку, поскольку делает события понятными. Мы видели, что субстанциональная теория теплоты объясняет много тепловых явлений. Однако скоро станет очевидным, что это опять ложная идея, что теплоту нельзя считать субстанцией, хотя бы и невесомой. Это ясно, если вспомнить о некоторых простых экспериментах, отменивших начало цивилизации.

О субстанции мы думаем как о чем-то, что никогда не может быть ни создано, ни разрушено. Однако первобытный человек с помощью трения создал теплоту, достаточную для того, чтобы зажечь дерево. Примеры нагревания посредством трения слишком многочисленны и хорошо известны, чтобы о них нужно было рассказывать. Во всех этих случаях создается некоторое количество теплоты — факт, трудно объяснимый с точки зрения субстанциональной теории. Верно, что защитник этой теории может придумать доводы с целью объяснить этот факт. Его рассуждение должно быть приблизительно таким: «Субстанциональная теория может объяснить видимое создание теплоты. Возьмем простейший пример, когда два куска дерева трутся друг о друга. Так вот трение — это нечто такое, что воздействует на дерево и изменяет его свойства. При этом свойства изменяются так, что неизменное количество теплоты должно создавать более высокую температуру, чем прежде. В конце концов, единственное, что мы

замечаем, это — повышение температуры. Возможно, что трение изменяет теплоемкость дерева, а не общее количество теплоты».

В этой стадии обсуждения было бы бесполезным спорить с защитником субстанциональной теории; это вопрос, который может быть разрешен только экспериментально. Представим себе два одинаковых куска дерева и предположим, что температура их изменена одинаково, но различными методами: в одном случае, например, путем трения, а в другом — при помощи соприкосновения с печкой. Если оба куска имеют одинаковую теплоемкость при новой температуре, то рушится вся субстанциональная теория. Имеются очень простые методы определения теплоемкостей, и судьба этой теории зависит от результата именно таких измерений. В истории физики часто встречается такое испытание, которое способно произнести приговор о жизни или смерти теории; оно называется *experimentum crucis*. Решением суда такого эксперимента может быть оправдана только одна теория явлений. Определение удельных теплоемкостей двух тел одного и того же рода нагретых до одинаковой температуры соответственно трением или тепловым потоком, представляет собой типичный пример такого решающего эксперимента. Этот эксперимент был произведен около ста сорока лет тому назад Румфордом; он нанес смертельный удар субстанциональной теории теплоты.

В докладе Румфорда мы читаем:

«Часто случается, что обычные житейские дела и занятия предоставляют нам возможности наблюдения некоторых наиболее любопытных процессов природы; очень интересные физические эксперименты нередко можно сделать без особых забот или затрат с помощью механизма, придуманного для выполнения простых механических задач в ремеслах и производстве.

У меня очень часто были случаи для подобных наблюдений, и я убеждался, что привычка быстро реагировать на все, что встречается в обычном ходе деловой жизни, приводила, так сказать, случайно или вольной игрой воображения, возникающей под влиянием размышлений над самыми обычными явлениями, — к полезным сомнениям и разумным планам исследования и совершенствования гораздо чаще, чем все самые напряженные размышления физиков в часы, специально отведенные для научных занятий...

Недавно, будучи обязанным наблюдать за сверлением пушек в мастерских военного арсенала в Мюнхене, я был удивлен очень значительной степенью теплоты, которую приобретала медная пушка за короткое время сверления; еще интенсивнее (гораздо интенсивнее, чем теплота кипящей воды, как я обнаружил опытом) была теплота металлических стружек, отделенных от пушки при сверлении...

Откуда приходит теплота, фактически произведенная в вышеупомянутом механическом процессе?

Доставляется ли она металлическими стружками, которые отделяются при сверлении от твердой массы металла?

Если бы это было так, то, согласно современному учению о скрытой теплоте и о теплороде, теплоемкость их не только должна была измениться, но само изменение это должно быть достаточно велико, чтобы объяснить всю произведенную теплоту.

Но никакого такого изменения не было; я обнаружил это, взяв равные по весу количества этих стружек, а также тонких полосок той же самой металлической болванки,

отделенных мелкой пилкой, и положив их при одинаковой температуре (температуре кипящей воды) в сосуды с холодной водой, взятой в одинаковых количествах (например, при температуре $59,5^{\circ}$ по Фаренгейту); вода, в которую были положены стружки, судя по всему, не нагрелась больше или меньше, чем другая часть воды, в которую были положены полоски металла».

Наконец, мы подходим к выводу Румфорда:

«Обсуждая этот предмет, мы не должны забывать учета того самого замечательного обстоятельства, что источник теплоты, порожденной трением, оказался в этих экспериментах явно неисчерпаем.

Совершенно необходимо добавить, что это нечто, которое любое *изолированное тело* или система тел может непрерывно поставлять *без ограничения*, не может быть *материальной субстанцией*; и мне кажется чрезвычайно трудным, если не совершенно невозможным, создать какую-либо точную идею о чем-то, что в состоянии возбуждаться и передаваться подобно тому, как возбуждается и передается в этих экспериментах теплота, если только не допустить, что это „что-то“ есть *движение*».

Таким образом, мы видим разрушение старой теории или, чтобы быть более точным, мы видим, что субстанциональная теория ограничивается задачами потока тепла. И опять, как указал Румфорд, мы должны искать новые идеи. Чтобы сделать это, оставим на время проблему теплоты и вернемся к механике.

Аттракцион «горки»

Проследим за движением маленького вагона, поднятого до наиболее высокой точки волнообразной горки. Когда он освобождается, он начинает катиться вниз под влиянием силы тяжести, а затем поднимается и опускается вдоль причудливо искривленной линии, заставляя пассажиров весьма остро переживать свое путешествие вследствие внезапного изменения скорости. Каждый зигзаг дорожки имеет свою наивысшую точку. Однако никогда на всем протяжении движения вагон не достигнет той же самой высоты, с которой он начал движение. Полное описание движения было бы очень сложным.

С одной стороны, это механическая проблема, так как налицо изменение скорости и положения во времени. С другой стороны, имеется трение, а стало быть, образование теплоты в рельсах и колесах. Единственное существенное основание для разделения физического процесса на эти два аспекта — это возможность использовать обсужденные раньше понятия. Это разделение приводит к идеализированному эксперименту, ибо физический процесс, в котором проявляется только механический аспект, можно только вообразить, но никогда нельзя реализовать.

Для идеализированного эксперимента мы можем вообразить, что некто научился полностью исключать трение, которое всегда сопровождает движение. Он решает применить свое открытие к конструкции нового аттрак-

циона — волнообразной горки и должен найти, как построить ее. Вагон должен пробежать вверх и вниз от своей исходной точки, скажем, на высоте тридцати метров над уровнем земли. Учась на опыте и ошибках, он скоро узнает, что он может следовать очень простому правилу: он может построить свою горку любой формы, какую он пожелает, при условии, что

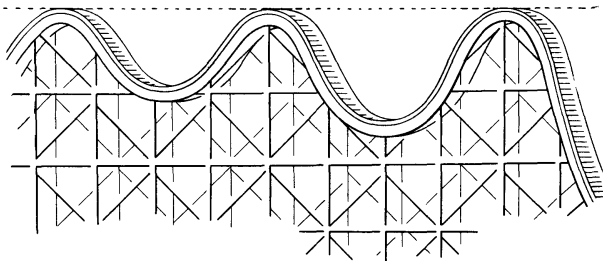


Рис. 18

ни одна точка его дорожки не лежит выше исходной. Если вагон будет двигаться без трения до самого конца горки, то на своем пути он может достигнуть высоты в тридцать метров столько раз, сколько наш конструктор пожелает, но никогда эта высота не может быть превзойдена. На реально выполнимой горке начальная высота никогда не может быть достигнута вагоном из-за трения, но наш воображаемый инженер не нуждается в рассмотрении последнего.

Проследим за движением на идеализированной горке (рис. 18) идеализированного вагона, начинающего катиться вниз от исходной точки. Когда он движется, его расстояние от земли уменьшается, но его скорость увеличивается. Это предложение на первый взгляд напоминает нам урок по языку: «У меня нет ни одного карандаша, но у вас есть шесть апельсинов». Однако оно не так глупо. Нет никакой связи между тем, что я не имею ни одного карандаша, а вы имеете шесть апельсинов, но существует очень реальное соотношение между расстоянием вагона от земли и его скоростью. Мы можем точно подсчитать скорость вагона в любой момент, если мы знаем, на какой высоте над землей он находится; мы вынуждены, однако, опустить здесь этот подсчет из-за его количественного характера, лучше всего выражаемого математической формулой.

В наивысшей точке скорость вагона равна нулю, а высота — тридцати метрам от земли. В самой низкой точке расстояние от земли равно нулю,

но скорость вагона наибольшая. Эти факты можно выразить другими словами. В наивысшей точке у вагона есть *потенциальная энергия*, но нет энергии движения — *кинетической энергии*. В самой низкой точке у вагона наибольшая кинетическая энергия, но нет никакой потенциальной энергии. Во всех промежуточных положениях, в которых имеется и некоторая скорость, и некоторое возвышение над землей, вагон имеет и кинетическую, и потенциальную энергии. Потенциальная энергия увеличивается с поднятием, между тем как кинетическая энергия становится больше по мере того, как возрастает скорость. Принципы механики достаточны для того, чтобы объяснить движение. В математической формуле содержатся два выражения энергии, каждое из которых при движении меняется, хотя сумма их не изменяется. Таким образом, возможно строго математически ввести понятия потенциальной энергии, зависящей от положения, и кинетической энергии, зависящей от скорости. Введение обеих величин, конечно, произвольно и оправдывается лишь удобством. Сумма двух величин остается неизменной и называется константой движения. Полную энергию, кинетическую плюс потенциальную, можно сравнить, например с деньгами, которые сохранялись неизменными по величине, но непрерывно обменивались по твердому курсу то на одну валюту, то на другую, скажем, на доллары, фунты, и обратно.

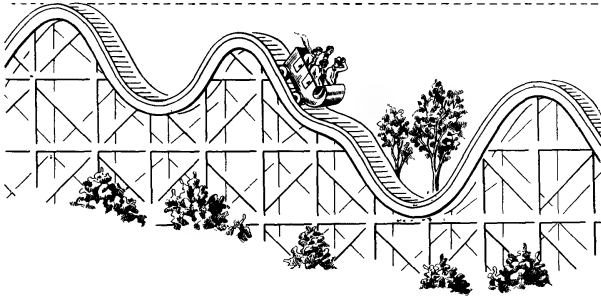


Рис. 19

На реальной горке (рис. 19), при движении по которой трение препятствует вагону вновь подняться до высоты исходной точки, имеет место непрерывный взаимобмен между кинетической и потенциальной энергиями. Однако здесь сумма их не остается постоянной, а становится все меньше и

меньше. Теперь необходимо сделать важный и смелый шаг — связать между собой механический и тепловой аспекты движения. Значение следствий и обобщений, сделанных из этого шага, будет видно из дальнейшего.

В этом случае в рассмотрение вовлекается нечто большее, чем кинетическая и потенциальная энергии, а именно: теплота, создаваемая трением. Соответствует ли эта теплота уменьшению механической, т. е. кинетической и потенциальной, энергии? Новое предположение неизбежно. Если теплоту можно рассматривать как форму энергии, то, может быть, сумма всех трех энергий — теплоты, кинетической и потенциальной энергий — остается постоянной. Не одна теплота, а теплота и другие формы энергии, взятые вместе, неразрушимы, подобно субстанции. Это похоже на то, как если бы человек, обменивая свои доллары на фунты, должен был из тех же денег заплатить франками за комиссию по обмену; общая сумма денег тоже сохраняется, так что сумма долларов, фунтов и франков представляет собой определенную величину, которую можно установить соответственно определенному курсу обмена.

Прогресс науки разрушил старое понятие теплоты как субстанции. Мы пытаемся создать новую субстанцию, энергию, одной из форм которой является теплота.

Мера превращения

Меньше ста лет назад Майер ввел, а Джоуль экспериментально подтвердил новую идею, которая привела к понятию теплоты как формы энергии. Удивительно, что почти все фундаментальные работы о природе теплоты были сделаны физиками не профессионалами, людьми, которые рассматривали физику исключительно как свое любимое хобби. Это были: широкообразованный шотландец Блэк, немецкий врач Майер и американский предприниматель граф Румфорд, впоследствии живший в Европе, где занимался различной деятельностью и, в частности, был военным министром Баварии. Был среди них и английский пивовар Джоуль, проделавший в свободное время ряд наиболее важных экспериментов, касающихся сохранения энергии.

Джоуль экспериментально подтвердил предположение о том, что теплота — это форма энергии, и определил меру превращения.

Стоит потратить время, чтобы посмотреть, каковы были его опыты. Кинетическая и потенциальная энергии системы составляют вместе ее *механическую* энергию. Мы предполагаем, что в случае движения вагона по волнообразной горке часть механической энергии превращается в теплоту. Если это верно, то как в этом, так и во всех других аналогичных физических процессах должна существовать определенная *мера превра-*

щения механической энергии в тепловую (механический эквивалент теплоты). Это строго количественный вопрос, но тот факт, что данное количество механической энергии может быть превращено в определенное количество теплоты, весьма важен. Нам хотелось бы знать, каким числом выражается мера превращений, т. е. сколько теплоты мы получим из данного количества механической энергии.

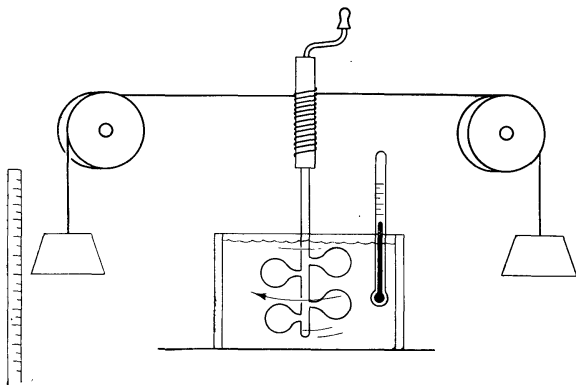


Рис. 20

Определение этого числа как раз и было предметом исследований Джоуля. Механизм одного из его экспериментов очень похож на механизм часов с гирями. Завод таких часов состоит в поднятии двух гирь, благодаря чему увеличивается потенциальная энергия системы. Если такие часы ни с чем не связаны, их можно считать замкнутой системой. Постепенно гири опускаются и часы идут. По прошествии определенного времени гири достигнут своего наинизшего положения, и часы остановятся. Что произошло с энергией? Потенциальная энергия гирь превратилась в кинетическую энергию механизма, а затем постепенно рассеялась в виде теплоты.

Искусное изменение в механизме этого рода позволило Джоулю измерить тепловую потерю, а тем самым и меру превращения. В его приборе две гири вызывали вращение колеса с лопастями, помещенного в воду (рис. 20). Потенциальная энергия гирь превращалась в кинетическую энергию движущихся частиц воды, а стало быть, в теплоту, которая увеличивала температуру воды. Джоуль измерял это изменение температуры и,

зная теплоемкость воды, подсчитывал количество поглощенной теплоты. Он подытожил результаты многих опытов в следующих положениях:

1. Количество теплоты, произведенной трением тел, твердых или жидких, всегда пропорционально количеству затраченной силы (силой Джоуль называл энергию).

2. Количество теплоты, необходимое для увеличения температуры фунта воды (взвешенной в вакууме и взятой при температуре между 55 и 60°) на 1° Фаренгейта, требует для своего развития расхода механической силы (энергии), представленной падением 772 фунтов с высоты в один фут.

Другими словами, потенциальная энергия 772 фунтов, поднятых на один фут над землей, эквивалентна количеству теплоты, необходимой для того, чтобы поднять температуру одного фунта воды от 55 до 56° по шкале Фаренгейта.

Последующие эксперименты уточнили числа, но Джоуль в своей работе сделал самое главное: открыл механический эквивалент теплоты.

После того как эта важная работа была сделана, дальнейший прогресс шел быстро. Скоро было признано, что механическая энергия и тепловая — это только две из многих форм энергии. Все, что может быть превращено в какую-либо из этих форм, есть тоже форма энергии. Излучение, испускаемое Солнцем, есть энергия, ибо часть ее превращается на Земле в теплоту. Электрический ток обладает энергией, ибо он нагревает проводник и вращает ротор мотора. Уголь обладает химической энергией, высвобождающейся в виде теплоты во время сгорания. В каждом явлении природы одна форма энергии превращается в другую всегда при некоторой вполне определенной мере превращения. В замкнутой системе, изолированной от внешних влияний, энергия сохраняется и, следовательно, ведет себя подобно субстанции. Сумма всех возможных форм энергии в такой системе постоянна, хотя количество любого из этих видов энергии может изменяться. Если мы рассматриваем всю Вселенную как замкнутую систему, мы можем вместе с физиками девятнадцатого столетия гордо заявить, что энергия Вселенной неизменна, что никакая часть ее никогда не может быть создана или уничтожена.

В таком случае существуют два понятия субстанции: *вещество* и *энергия*. Оба подчиняются законам сохранения: масса и полная энергия изолированной системы не могут изменяться. Вещество имеет вес, а энергия невесома. Поэтому мы имеем два различных понятия и два закона сохранения. Можно ли и теперь использовать эти идеи в прежнем виде? Или эта несомненно хорошо обоснованная картина изменилась в свете новейших исследований? Да, изменилась! Дальнейшие изменения в обоих понятиях связаны с теорией относительности. Мы вернемся к этому вопросу позднее.

Философские воззрения

Результаты научного исследования очень часто вызывают изменения в философских взглядах на проблемы, которые распространяются далеко за пределы ограниченных областей самой науки. Какова цель науки? Что требуется от теории, которая стремится описать природу? Эти вопросы, хотя и выходят за пределы физики, близко связаны с ней, так как наука дает тот материал, из которого они вырастают. Философские обобщения должны основываться на научных результатах. Однако, раз возникнув и получив широкое распространение, они очень часто влияют на дальнейшее развитие научной мысли, указывая одну из многих возможных линий развития. Успешное восстание против принятого взгляда имеет своим результатом неожиданное и совершенно новое развитие, становясь источником новых философских воззрений. Эти замечания неизбежно звучат неопределенно и неостроумно до тех пор, пока они не иллюстрированы примерами, взятыми из истории физики.

Мы постараемся здесь описать первые философские идеи о целях науки. Эти первые идеи сильно влияли на развитие физики до тех пор, пока, около ста лет назад, они не были отброшены благодаря новым данным, новым фактам и теориям, которые в свою очередь образовали новую основу для науки.

Во всей истории науки от греческой философии до современной физики имелись постоянные попытки свести внешнюю сложность естественных явлений к некоторым простым фундаментальным идеям и отношениям. Это основной принцип всей натуральной философии. Он выражен уже в работе атомистов. Двадцать три столетия назад Демокрит писал:

«Условно сладкое, условно горькое, условно горячее, условно холодное, условен цвет. А в действительности существуют атомы и пустота. Иначе говоря, объекты чувств предполагаются реальными, и в порядке вещей — рассматривать их как таковые, но на самом деле они не существуют. Реальны только атомы и пустота».

Эта идея остается в древней философии не чем иным, как остроумным вымыслом воображения. Законы природы, устанавливающие связь следующих друг за другом событий, были неизвестны грекам. Наука, связывающая теорию и эксперимент, фактически началась с работ Галилея. Мы проследили за первыми шагами ее развития, приводящими к законам движения. На протяжении двухсот лет научного исследования сила и материя были основными понятиями во всех попытках понять природу. Невозможно представить себе одно без другого, ибо материя обнаруживает свое существование в качестве источника силы благодаря ее действию на другую материю.

Рассмотрим простейший пример: две частицы, между которыми действуют силы. Легче всего представить себе силы притяжения и отталки-

вания. В обоих случаях векторы сил лежат на линии, соединяющей материальные точки (рис. 21). Требование простоты приводит нас к картине частиц, притягивающих или отталкивающих друг друга; любое другое предположение о направлении действующих сил привело бы к гораздо более сложной картине. Можем ли мы сделать столь же простое предположение о длине векторов сил? Если мы пожелаем избежать слишком специальных предположений, мы можем высказать одно соображение: сила, действующая между двумя данными частицами, зависит только от расстояния между ними, подобно силам тяготения. Это предположение кажется довольно простым. Можно было бы представить гораздо более сложные силы, например, зависящие не только от расстояния, но и от скоростей обеих частиц. С материей и силой в качестве основных понятий мы едва ли можем связать более простые предположения, чем те, что силы действуют вдоль линии, связывающей частицы, и зависят только от расстояния. Но возможно ли описать все физические явления с помощью сил только этого рода?

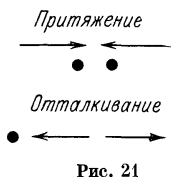


Рис. 21

Огромные достижения механики во всех ее ветвях, ее поразительный успех в развитии астрономии, приложение ее идей к проблемам, по-видимому, отличным от механических по своему характеру, — все это способствовало развитию уверенности в том, что с помощью простых сил, действующих между неизменными объектами, можно описать все явления природы. На протяжении двух столетий, следовавших за временем Галилея, такая попытка, сознательная или бессознательная, проявляется почти во всех научных трудах.

Особенно ясно ее сформулировал Гельмгольц примерно в середине девятнадцатого столетия:

«Следовательно, конечную задачу физической науки мы видим в том, чтобы свести физические явления к неизменным силам притяжения или отталкивания, величина которых целиком зависит от расстояния. Разрешимость этой задачи есть условие полного понимания природы».

Таким образом, линия развития науки, согласно Гельмгольцу, определена и следует строго установленному курсу:

«Ее призвание будет выполнено по мере того, как будет выполнено сведение явлений природы к простым силам и будет доказано, что это единственно возможное сведение, которое допускают явления».

Физику двадцатого столетия это воззрение представляется недалеким и наивным. Ему страшно было бы подумать, что величайшие успехи исследования могли бы скоро закончиться, перестав возбуждать умы, если бы непогрешимая картина строения Вселенной была установлена на все времена.

Хотя эти догматы сводили бы описание всех событий к простым силам, они оставляли бы открытым вопрос о точной зависимости сил от расстояния. Возможно, что для различных явлений эта зависимость различна. Необходимость введения многих различных видов сил для различных событий, конечно, неудовлетворительна с философской точки зрения. Тем не менее, это так называемое *механистическое воззрение*, наиболее ясно сформулированное Гельмгольцем, сыграло в свое время важную роль. Развитие кинетической теории вещества есть одно из величайших достижений науки, непосредственно вызванное механистическим воззрением.

Прежде чем показать его упадок, временно станем на ту точку зрения, которой придерживались физики прошлого столетия, и посмотрим, какие заключения мы можем вывести из этой картины внешнего мира.

Кинетическая теория вещества

Возможно ли объяснить тепловые явления в терминах, относящихся к движению частиц, взаимодействующих между собой с помощью простых сил? Пусть замкнутый сосуд содержит определенную массу газа, например воздуха, при определенной температуре. Нагревая воздух, мы поднимаем его температуру и таким образом увеличиваем энергию. Но как эта теплота связана с движением? Возможность такой связи внушается нам и нашим догматически принятым философским воззрением и тем, что теплота порождается движением. Теплота должна представлять собой механическую энергию, если всякая проблема есть механическая проблема. Задача *кинетической теории* состоит в том, чтобы представить понятие материи именно таким путем. Согласно этой теории, газ есть совокупность огромного числа частиц, или *молекул*, движущихся во всех направлениях, соударяющихся друг с другом и изменяющих свое направление движения после каждого столкновения. В таком газе должна существовать средняя скорость молекул, подобно тому как в большом человеческом обществе существует средний возраст или средний доход. Поэтому должна существовать также и средняя кинетическая энергия частицы. Чем больше теплоты в данном сосуде, тем больше средняя кинетическая энергия.

Таким образом, согласно этой картине, теплота не является специфической формой энергии, отличной от механической: она есть не что иное, как именно кинетическая энергия молекулярного движения. Любой определенной температуре соответствует определенная средняя кинетическая энергия молекулы. В самом деле, это не произвольное предположение. Мы вынуждены рассматривать кинетическую энергию молекулы как меру температуры газа, если мы хотим создать последовательную механистическую картину строения вещества.

Эта картина — нечто большее, чем игра воображения. Можно показать, что кинетическая теория газов не только находится в согласии с экспериментом, но и действительно приводит к более глубокому пониманию фактов. Это можно проиллюстрировать несколькими примерами.

Пусть мы имеем сосуд, закрытый поршнем, который может свободно двигаться (рис. 22). Сосуд содержит определенное количество газа, которое должно сохраняться при неизменной температуре. Если поршень вначале покоится в некотором положении, то его можно поднять вверх, снимая нагрузку, или, добавляя ее, опустить. Чтобы сдвинуть поршень

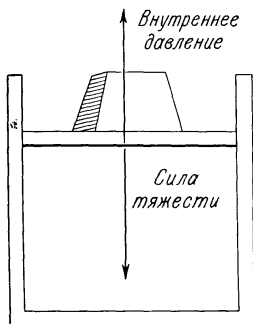


Рис. 22

вниз, нужно употребить силу, действующую против внутреннего давления газа. Каков механизм этого внутреннего давления согласно кинетической теории? Огромное число частиц, составляющих газ, движется во всех направлениях. Они бомбардируют все стенки и поршень, отскакивая назад, подобно мячам, брошенным в стену. Эта непрерывная бомбардировка большого числа частиц поддерживает поршень на определенной высоте, сопротивляясь силе тяжести, действующей по направлению вниз на поршень и нагрузку. В одном направлении действует постоянная сила тяготения, а в другом — очень много беспорядочных ударов молекул. Конечный результат действия на поршень всех этих малых беспорядочных сил должен быть равен результату действия силы тяготения, если сохраняется равновесие.

Предположим, что поршень сдвинули вниз так, что он сжал газ до некоторой части его первоначального объема, скажем, до половины, а температура его осталась неизменной. Что должны мы ожидать в этом случае согласно кинетической теории? Будет ли сила, происходящая от бомбардировки молекул, эффективнее, чем прежде, или нет? Теперь частицы заполняют сосуд теснее, чем прежде. Хотя средняя кинетическая энергия по-прежнему та же самая, удары частиц о поршень теперь происходят чаще, а, стало быть, полная сила будет больше. Из этой картины, представленной кинетической теорией, ясно, что, для того чтобы удержать поршень в его нижнем положении, требуется большая нагрузка. Этот простой экспериментальный факт хорошо известен, но предсказание его логически вытекает из кинетического взгляда на вещество.

Рассмотрим другой эксперимент. Возьмем два сосуда, содержащих одинаковые объемы различных газов, скажем, водорода и азота, оба при одинаковой температуре. Предположим, что оба сосуда закрыты одинако-

выми поршнями, на которых наложены равные нагрузки. Короче говоря, это означает, что оба газа имеют равные объемы, температуру и давление. Так как температура одинакова, то, согласно теории, такова же и средняя кинетическая энергия частиц. Так как давления одинаковы, то оба поршня бомбардируются с одной и той же общей силой. В среднем каждая частица обладает одной и той же энергией, и оба сосуда имеют равный объем. Поэтому, хотя газы химически и различны, *число молекул в каждом сосуде должно быть одинаковым*. Этот результат очень важен для понимания многих химических явлений. Он означает, что число молекул в данном объеме при определенной температуре и давлении есть нечто такое, что характеризует не какой-либо отдельный газ, а все газы. Наиболее изумительно то, что кинетическая теория не только предсказывает существование такого универсального числа, но и позволяет нам определить его. К этому вопросу мы скоро вернемся.

Кинетическая теория вещества объясняет как количественно, так и качественно, законы газов, найденные с помощью эксперимента. Более того, теория не ограничивается газами, хотя ее наибольшие успехи были достигнуты в этой области.

Газ можно довести до сжижения понижением его температуры. Падение температуры вещества означает уменьшение средней кинетической энергии его частиц. Поэтому ясно, что средняя кинетическая энергия частиц жидкости меньше, чем средняя кинетическая энергия частиц соответствующего газа.

Поразительная демонстрация движения частиц в жидкостях была впервые дана так называемым *броуновским движением*, замечательным явлением, которое осталось бы совершенно таинственным и непонятным без кинетической теории вещества. Оно было впервые наблюдало ботаником Броуном, а объяснено лишь спустя восемьдесят лет, в начале этого столетия. Единственный прибор, необходимый для наблюдения броуновского движения, — это микроскоп, притом даже не особенно хорошего качества.

Броун работал с частицами пылицы некоторых растений, т. е., по его словам,

«частицами размером от одной четырехтысячной до одной пятидесятичной доли дюйма в длину».

Далее он рассказывает:

«Проверяя формы этих частиц, погруженных в воду, я наблюдал многие из них в явном движении... Эти движения были таковы, что после многих повторных наблюдений я убедился в том, что они возникают не от потоков в жидкости и не от ее постепенного испарения, а принадлежат самим частицам».

То, что наблюдал Броун, было непрерывным колебанием частиц, взвешенных в воде и наблюдаемых в микроскоп. Это поразительное зрелище!

Существен ли выбор определенных растений для наблюдаемого явления? Чтобы ответить на этот вопрос, Броун повторил эксперимент со многими различными растениями и нашел, что любые частицы, взвешенные в воде, обнаруживают такое же движение, если только они достаточно малы. Больше того, он обнаружил тот же вид неугомонного, беспорядочного движения у очень малых частиц как органических, так и неорганических веществ. Даже с распыленными кусочками камня он наблюдал такие же явления (рис. 23, 24, 25 и 26).

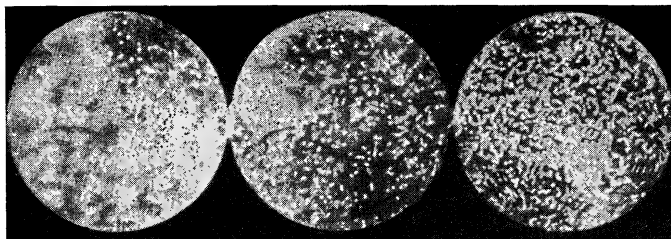


Рис. 23. Броуновские частицы, видимые через микроскоп
(Фотография Ж. Перрена)

Как можно объяснить это движение? Кажется, что оно противоречит всему прежнему опыту. Наблюдение положения одной взвешенной частицы, произведенное, скажем, через каждые тридцать секунд, обнаруживает фантастическую форму ее пути. Удивительно то, что ее движение, по-видимому, имеет характер вечного движения. Колеблющийся маятник, помещенный в воду, скоро остановится, если только к нему не будет приложена некоторая периодически действующая внешняя сила. Существование никогда не ослабляющегося движения кажется противоречащим всему предыдущему опыту. Эта трудность была блестяще объяснена кинетической теорией вещества.

Если мы будем рассматривать воду даже через самый мощный микроскоп, мы не можем увидеть молекул и их движения, нарисованного нам кинетической теорией вещества. Из этого можно заключить, что если представление о воде как о совокупности частиц и правильно, то величина этих частиц лежит за пределами видимости самых лучших микроскопов. Тем не менее останемся верными теории и предположим, что она представляет последовательную картину реальности. Броуновские частицы, видимые в микроскоп, бомбардируются меньшими частицами, составляющими

воду. Если бомбардируемые частицы достаточно малы, то возникает броуновское движение. Оно возникает потому, что эта бомбардировка неодинакова со всех сторон и не может быть уравновешена в силу своего хаотического и случайного характера. Таким образом, наблюдаемое движение есть результат движения ненаблюдаемого. Поведение больших частиц отражает некоторым образом поведение молекул, составляя, так сказать, увеличение столь большое, что оно становится видным через микроскоп.



Рис. 24. Одна броуновская частица, сфотографированная с длительной выдержкой
(Фотография Брумберга и Вагилова)



Рис. 25. Последовательные положения, наблюдаемые для одной из броуновских частиц



Рис. 26. Путь, усредненный по этим последовательным положениям

Хаотичный и случайный характер пути броуновских частиц отражает хаотичность пути меньших частиц, которые составляют вещество. Из сказанного мы можем заключить, что количественное изучение броуновского движения может дать нам более глубокое проникновение в кинетическую теорию вещества. Ясно, что видимое броуновское движение зависит от величины невидимых бомбардирующих молекул. Броуновского движения не было бы вовсе, если бы бомбардирующие молекулы не обладали определенным количеством энергии или, другими словами, если бы они не имели массы и скорости. Поэтому неудивительно, что изучение броуновского движения может привести к определению массы молекулы.

Благодаря трудолюбивому исследованию, теоретическому и экспериментальному, были получены количественные результаты кинетической теории. Идея, возникшая при изучении броуновского движения, была

одной из тех, которая привела к количественным результатам. Одни и те же результаты могут быть получены различными путями, исходя из совершенно различных предпосылок. Тот факт, что все эти методы являются опорой одного и того же воззрения, очень важен, ибо это показывает внутреннюю последовательность кинетической теории вещества.

Здесь мы напомним лишь один из многих результатов, достигнутых экспериментом и теорией. Предположим, что мы имеем один грамм самого легкого из всех элементов — водорода — и спрашиваем: сколько частиц в этом грамме? Ответ будет характеризовать не только водород, но и все другие газы, так как мы уже знаем, при каких условиях два газа имеют одинаковое число частиц.

Теория позволяет нам ответить на этот вопрос, исходя из известных измерений броуновского движения взвешенных частиц. Ответ представляет собой поразительно большое число: тройка, за которой следует двадцать три других цифры. Число молекул в одном грамме водорода примерно равно:

300 000 000 000 000 000 000 000.

Вообразим, что молекулы грамма водорода так возросли по своей величине, что стали видимыми через микроскоп, а их диаметр достиг одной двухтысячной сантиметра, т. е. стал таким же, как и диаметр броуновских частиц. Тогда, для того чтобы тесно уложить их друг возле друга, мы должны были бы взять ящик, каждая сторона которого имеет длину около полукилометра!

Мы легко можем подсчитать массу одной водородной молекулы, разделив единицу на указанное выше число. Ответ дает фантастически малое число:

0, 000 000 000 000 000 000 000 003 3 г,

представляющее массу молекулы водорода.

Эксперименты с броуновским движением являются лишь одними из многих независимых экспериментов, приводящих к определению этого числа, играющего чрезвычайно важную роль в физике.

В кинетической теории материи и во всех ее важных достижениях мы видим осуществление общей философской программы: свести объяснение всех явлений к механическому взаимодействию между частицами материи.

Подведем итоги.

В механике будущий путь движущегося тела может быть предсказан, а его прошлое может быть раскрыто, если известны для данного момента условия движения тела и действующие на него силы. Так, например, могут быть предсказаны будущие пути всех планет. Действующие на них силы

суть ньютоновы силы тяготения, зависящие только от расстояния. Великие результаты классической механики внушают нам мысль, что механистическое воззрение можно последовательно применить ко всем ветвям физики, что все явления можно объяснить действием сил, представляющих собой притяжение или отталкивание, зависящих только от расстояния и действующих между неизменными частицами.

В кинетической теории вещества мы видим, как это воззрение, возникающее из механических проблем, охватывает явления теплоты и как оно приводит к преуспевающей картине строения вещества.

II. УПАДОК МЕХАНИСТИЧЕСКОГО ВОЗЗРЕНИЯ

Две электрические жидкости

Последующие страницы содержат скучный отчет о некоторых очень простых экспериментах. Отчет будет скучным не только потому, что описание экспериментов неинтересно по сравнению с самим осуществлением их, но и потому, что самый смысл экспериментов не очевиден до тех пор, пока его не выяснит теория. Наша цель состоит в том, чтобы показать яркий пример, характеризующий роль теории в физике.

1. Пусть металлический стержень укреплен на стеклянной подставке, а концы стержня связаны с помощью металлических проводников с электроскопом. Что такое электроскоп? Это простой прибор, который в основном состоит из двух листочков золотой фольги, подвешенных на конце короткого металлического стержня. Они заключены в стеклянную банку или бутылку, так что металл находится в контакте только с неметаллическими телами, называемыми изоляторами. Кроме электроскопа и металлического стержня, в нашем распоряжении имеются твердая эбонитовая палочка и кусок шерстяной ткани.

До осуществления эксперимента обратим внимание на то, висят ли листочки сомкнутыми вместе, ибо это их нормальное положение, или нет. Если они случайно не сомкнуты, то прикосновение пальца к металлическому стержню сведет их вместе. После того как эти предварительные мероприятия проделаны, эбонитовая палочка энергично натирается шерстяной тканью и приводится в соприкосновение с металлом. Листочки сразу же отойдут друг от друга. Они остаются в таком положении даже после того, как эбонитовая палочка будет отодвинута в сторону (рис. 27).

2. Проделаем другой эксперимент, используя те же приборы, что и раньше, но предварительно приведя листочки электроскопа в прежнее положение, в котором они свободно висят, касаясь друг друга. Сейчас мы не

будем касаться эбонитовой палочкой металлического стержня, а только поднесем ее близко к металлу. Листочки электроскопа опять разойдутся. Но сейчас это разделение оказывается иным. Когда эбонитовая палочка удаляется, совсем не коснувшись металла, листочки вместо того, чтобы оставаться разделенными, немедленно спадают, возвращаясь к своему нормальному положению.

3. Для третьего эксперимента слегка изменим приборы. Предположим, что металлический стержень состоит из двух кусков, соединенных вместе. Мы натираем эбонитовую палочку шерстяной тканью и снова подносим ее близко

к металлу. Происходит то же явление — листочки разделяются. Но теперь мы сначала отделим части металлического стержня друг от друга

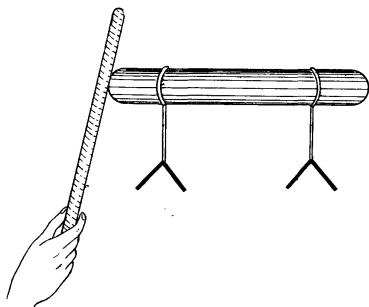


Рис. 27

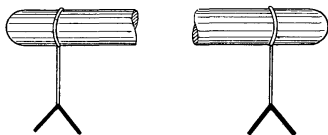


Рис. 28

и только после этого удалим эбонитовую палочку. Мы замечаем, что в этом случае листочки остаются разделенными, а не спадают от своего нормального положения, как это было во втором эксперименте (рис. 28).

Едва ли эти простые и наивные эксперименты могут возбудить живой интерес или энтузиазм. В средние века тот, кто их осуществлял, был бы, вероятно, осужден; нам они кажутся и скучными, и нелогичными. Было бы очень трудно, не смущаясь, повторить их после чтения сухого отчета об их выполнении. Некоторые теоретические рассуждения, однако, делают их понятными. Мы могли бы сказать больше: едва ли возможно представить себе такие эксперименты как осуществление случайной игры воображения, без предварительно существовавших более или менее определенных идей об их значении.

Теперь мы укажем идеи, лежавшие в основе очень простой и наивной теории, объясняющей все описанные факты.

Существуют две *электрические жидкости*, одна называется *положительной* (+), а другая — *отрицательной* (—). Они подобны субстанции

в уже разъясненном смысле: ее величина может возрастать или убывать, но общая сумма сохраняется в любой изолированной системе. Имеется, однако, существенное отличие между этим случаем и случаем с теплотой, веществом или энергией. Мы имеем две электрические субстанции. Здесь невозможно применение предыдущей аналогии с деньгами, если не сделать некоторого обобщения. Тело электрически нейтрально, если положительная и отрицательная электрические жидкости полностью уничтожают друг друга. Человек ничего не имеет или потому, что у него действительно ничего нет, или потому, что сумма денег, отложенных в его сейфе, в точности равна сумме его долгов. С двумя родами электрических жидкостей мы можем сравнить дебет и кредит в бухгалтерских книгах.

Далее, теория полагает, что обе электрические жидкости одинакового рода отталкивают друг друга, в то время как обе жидкости противоположного рода притягивают. Это можно представить графически так, как это сделано на рис. 29.

Необходимо последнее теоретическое предположение. Имеется два вида тел: тела, в которых эти жидкости могут двигаться свободно,— так называемые *проводники*, и тела, в которых они не могут двигаться,— так называемые *изоляторы*.

Как всегда бывает в таких случаях, это деление тел на два вида нельзя рассматривать слишком строго. Идеальный проводник, как и идеальный изолятор,— это абстракции, которые никогда не могут быть реализованы. Металлы, земля, человеческое тело — все это примеры проводников, хотя и неодинакового качества. Стекло, резина, фарфор и им подобные тела — это изоляторы. Воздух не всегда является изолятором, как это знает тот, кто видел описанные эксперименты. Плохие результаты электростатических экспериментов часто объясняются влажностью воздуха, увеличивающей его проводимость.

Эти теоретические положения достаточны для объяснения трех описанных экспериментов. Мы рассмотрим их еще раз в том же порядке, как и раньше, но в свете теории электрических жидкостей.

1. Эбонитовая палочка, как и все другие тела при нормальных условиях, электрически нейтральна. Она содержит обе жидкости, положительную и отрицательную, в равных количествах. Трением о шерсть мы разделяем их. Это утверждение чисто условно, ибо это есть приложение терминологии, созданной теорией, к описанию процесса трения. Тот вид электричества, который эбонитовая палочка имеет в избытке, впоследствии был назван отрицательным,— название, которое, конечно, является

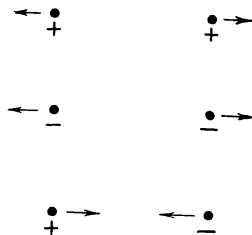


Рис. 29

лишь делом соглашения. Если бы эксперименты были осуществлены со стеклянной палочкой, натертой кошачьим мехом, мы должны были бы назвать избыток электричества на ней положительным, чтобы не противоречить уже принятым положениям. Но продолжим рассказ. Мы передаем электрическую жидкость металлическому проводнику, касаясь его эбонитом. В этом проводнике она движется свободно, распространяясь по всему металлу, включая и золотые листочки. Так как отрицательные жидкости взаимно отталкиваются, то оба листочка стремятся удалиться друг от друга, насколько это возможно, в результате чего и наблюдается

их разделение. Металл покоится на стеклянной подставке или каком-либо ином изоляторе, так что электрическая жидкость остается на проводнике, насколько это допускает слабая проводимость воздуха. Теперь мы понимаем, почему мы должны коснуться металла пальцем в начале эксперимента. В этом случае металл, человеческое тело и земля составляют один большой

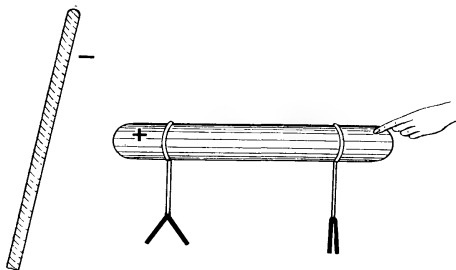


Рис. 30

проводник, по которому электрическая жидкость разливается так, что практически на электроскопе ничего не остается.

2. Второй эксперимент начинается так же, как и первый. Но теперь эбонит не касается металла, а лишь подносится к нему. Обе жидкости в проводнике, имея возможность свободно двигаться, разделяются; одна притягивается к палочке, а другая отталкивается. Они вновь смешиваются, когда эбонитовая палочка удаляется, так как жидкости противоположного рода притягивают друг друга.

3. Затем в присутствии натертой эбонитовой палочки мы разделяем металлический стержень на две части и, наконец, удаляем палочку. В этом случае после удаления эбонитовой палочки обе жидкости не смешиваются, так что золотые листочки сохраняют избыток одной электрической жидкости и остаются разделенными.

В свете этой простой теории все упомянутые здесь факты кажутся понятными. Та же теория дает больше, позволяя нам понять не только эти, но и многие другие «факты» в области «электростатики». Цель всякой теории — вести нас к новым фактам, наводить на мысль о новых экспериментах и приводить к открытию новых явлений и новых законов. Пример сле-

дает это ясным. Представим себе изменение во втором эксперименте. Предположим, что я оставляю эбонитовую палочку возле металла и в то же время касаюсь металла своим пальцем (рис. 30). Что теперь случится? Теория дает ответ: отталкиваемая палочкой отрицательная (—) жидкость теперь может удалиться через мое тело, так что в результате в металлическом стержне остается только одна жидкость, положительная (+). Листочки электроскопа остаются разделенными. И действительно, эксперимент подтверждает это предсказание.

Теория, о которой мы сейчас рассказываем, конечно, наивна и не совпадает с точкой зрения современной физики. Тем не менее это хороший пример, показывающий характерные черты всякой физической теории.

В науке нет вечных теорий. Всегда происходит так, что некоторые предсказания теории, опровергаются экспериментом. Всякая теория имеет свой период постепенного развития и триумфа, после которого она может испытать быстрый упадок. Подъем и падение субстанциональной теории теплоты, уже обсуждавшиеся здесь, являются одним из многих возможных примеров. Другие примеры, более глубокие и важные, будут обсуждаться позднее. Почти всякий большой успех в науке возникает из кризиса старой теории как результат попытки найти выход из создавшихся трудностей. Мы должны проверять старые идеи, старые теории, хотя они и принадлежат прошлому, ибо это — единственное средство понять значительность новых идей и пределы их справедливости.

На первых страницах нашей книги мы сравнивали роль исследователя с ролью детектива, который, собрав необходимые факты, находит правильное решение посредством чистого мышления. В одном весьма существенном отношении это сравнение следует считать чрезвычайно поверхностным. И в жизни, и в детективных новеллах преступление дано. Детектив должен просмотреть письма, отпечатки пальцев, пули, ружья, но по крайней мере он знает, что убийство совершилось. Для ученого дело обстоит не так. Было бы нетрудно представить себе человека, который абсолютно ничего не знает об электричестве; все древние довольно счастливо жили, ничего не зная о нем. Пусть этому человеку дан металл, золотой листок, бутылки, эбонитовая палочка, шерстяная тряпочка, словом, все материалы, необходимые для осуществления трех наших экспериментов. Он может быть очень культурным лицом, но он, вероятно, нальет в бутылки вино, использует тряпочку для чистки и никогда не проникнется вдруг идеей о том, чтобы проделать те эксперименты, которые мы описали. Для детектива факт преступления дан, и задача формулируется так: кто убил Кука Робина? Ученый должен, по крайней мере отчасти, сам совершить преступление, затем довести до конца исследование. Более того, его задача состоит в том, чтобы объяснить не один только данный случай, а все связанные с ним явления, которые происходили или могут еще произойти.

В факте введения понятия жидкостей мы видим влияние тех механистических идей, которые стремятся все объяснить с помощью субстанций и простых сил, действующих между ними. Чтобы увидеть, можно ли механистическую точку зрения применить к описанию электрических явлений, мы должны рассмотреть следующую проблему. Пусть даны два небольших шара, имеющих электрический заряд, т. е. несущих избыток какой-то одной электрической жидкости. Мы знаем, что шары будут либо притягивать, либо отталкивать друг друга. Но зависит ли сила только от расстояния и, если да, то как? Самым простым будет предположение, что эта сила зависит от расстояния так же, как и сила тяготения, которая уменьшается, скажем, до одной девятой своей первоначальной величины, если расстояние увеличивается в три раза. Эксперименты, сделанные Кулоном, показали, что этот закон действительно справедлив. Спустя сто лет после того как Ньютон открыл закон тяготения, Кулон обнаружил такую же зависимость электрической силы от расстояния. Но закон Ньютона и закон Кулона существенно различаются в следующих двух отношениях. Гравитационное притяжение существует всегда, в то время как электрические силы существуют только в том случае, если тела обладают электрическими зарядами. В законе тяготения имеется только притяжение, а электрические силы могут как притягивать, так и отталкивать.

Здесь возникает тот же самый вопрос, который мы рассматривали в связи с теплотой. Являются ли электрические жидкости невесомыми субстанциями или нет? Другими словами, будет ли вес куска металла одинаков, когда он нейтрален и когда он заряжен? Весы никакого различия не обнаруживают. Мы заключаем, что электрические жидкости тоже являются членами семейства невесомых субстанций.

Дальнейший прогресс в теории электричества требует введения двух понятий. Мы опять будем избегать строгих определений, используя вместо них аналогии с уже известными понятиями. Мы помним, как существенно было для понимания тепловых явлений различать между самой теплотой и температурой. Равным образом и здесь важно различать электрический потенциал и электрический заряд. Различие между обоими понятиями станет ясным из следующей аналогии:

Электрический потенциал ↔ Температура

Электрический заряд ↔ Теплота

Два проводника, например два шара различной величины, могут иметь одинаковый заряд, т. е. одинаковый избыток электрической жидкости, но потенциал будет различным в обоих случаях, а именно: он выше для меньшего шара и ниже для большего. Электрическая жидкость будет иметь большую плотность и, стало быть, будет более сжата в малом проводнике.

Так как отталкивательные силы должны с плотностью возрастать, то тенденция заряда улетучиваться будет больше в меньшем шаре, чем в большем. Эта тенденция заряда уходить с проводника есть непосредственное выражение его потенциала. Чтобы ясно показать различие между зарядом и потенциалом, мы сформулируем несколько предложений, описывающих поведение нагретых тел, и соответствующие им предложения, касающиеся заряженных проводников.

Теплота

Два тела, имеющих вначале различную температуру, спустя некоторое время после того, как они приведены в соприкосновение, достигают одной и той же температуры.

Равные количества теплоты производят различные изменения температуры в двух телах, если теплоемкости этих тел различны.

Термометр, находящийся в контакте с каким-либо телом, длиной своего ртутного столбика показывает свою собственную температуру, а вместе с тем и температуру тела.

Но такую аналогию нельзя продолжать слишком далеко. Следующий пример показывает как сходство, так и различие. Если горячее тело приведено в контакт с холодным, то теплота течет от горячего к холодному телу. Предположим, с другой стороны, что мы имеем два изолированных проводника, имеющих равные, но противоположные заряды, положительный и отрицательный. Оба — при разных потенциалах. Согласились считать потенциал, соответствующий отрицательному заряду, более низким, чем потенциал, соответствующий положительному. Если оба проводника сдвинуты до соприкосновения друг с другом или соединены проволокой, то из теории электрических жидкостей следует, что они не покажут никакого заряда, а это означает, что никакой разности электрических потенциалов нет вовсе. Мы должны представить себе, что «течение» электричес-

Электричество

Два изолированных проводника, имеющих вначале различные электрические потенциалы, очень скоро после того, как они приведены в соприкосновение, достигают одного и того же потенциала.

Равные величины электрических зарядов производят различные изменения электрических потенциалов в двух телах, если электрические емкости тел различны.

Электроскоп, находящийся в контакте с каким-либо проводником, разделением золотых листочков показывает свой собственный электрический потенциал, а вместе с тем и электрический потенциал проводника.

кого заряда от одного проводника к другому совершается за очень короткое время, в течение которого разность потенциалов исчезает. Но как это происходит? Течет ли положительная жидкость к отрицательно заряженному телу или отрицательная — к положительно заряженному?

В фактах, которые здесь разбирались, мы не видели никакого основания для решения этого вопроса. Мы можем предположить осуществляющейся либо одну из этих возможностей, либо и ту и другую, считая, что течение электричества совершается одновременно в обоих направлениях. Это лишь вопрос соглашения, которое мы принимаем, и нельзя придавать значения выбору, ибо мы знаем, что нет никакой возможности экспериментально решить этот вопрос. Дальнейшее развитие, ведущее к гораздо более глубокой теории электричества, дало разрешение этой проблемы, которая совершенно бессмысленна, пока она сформулирована в пределах примитивной теории электрических жидкостей. В дальнейшем мы будем придержи-

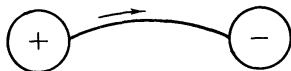


Рис. 31

ваться следующего способа выражения: электрические жидкости текут от проводника с более высоким потенциалом к проводнику с более низким потенциалом. Таким образом в случае наших двух проводников электричество течет от положительно заряженного проводника к отрицательно заряженному (рис. 31). Это выражение — исключительно дело соглашения и с этой точки зрения совершенно произвольно.

Все эти затруднения показывают, что аналогия между теплотой и электричеством ни в коем случае не является полной.

Мы видели, какова возможность приспособления механистического воззрения к описанию элементарных фактов электростатики. То же самое возможно и в отношении магнитных явлений.

Магнитные жидкости

Мы будем поступать здесь так же, как и раньше: начинать с очень простых фактов, а затем отыскивать их теоретическое объяснение.

1. Пусть у нас имеются два длинных магнита; один из них уравновешен так, что он занимает горизонтальное положение, а другой мы возьмем в руку. Если концы обоих магнитов поднести друг к другу, между ними обнаруживается сильное притяжение (рис. 32). Этого всегда можно достигнуть. Если притяжения нет, мы должны повернуть магнит и попробовать другой конец. Концы магнитов называются их *полюсами*. Продолжая эксперимент, мы двигаем полюс магнита, который держим в руке, вдоль другого магнита. При этом наблюдается уменьшение притяжения,

а когда полюс достигает середины уравновешенного магнита, то вообще никакого проявления сил нет. Если полюс движется дальше в том же направлении, то наблюдается отталкивание, достигающее наибольшей силы у второго полюса уравновешенного магнита.

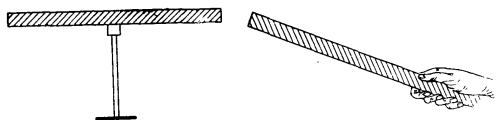


Рис. 32

2. Приведенный выше пример наводит на следующую мысль. Каждый магнит имеет два полюса. Нельзя ли изолировать один из них? Осуществление этой идеи кажется очень простым, а именно: разломить магнит на две равные части. Мы видели, что никакого взаимодействия между полюсом одного магнита и серединой другого магнита нет. Но если мы действительно разломим магнит, то результат окажется весьма удивительным и неожиданным. Если мы повторим эксперимент, описанный под номером 1, но теперь лишь с половиной уравновешенного магнита, то результаты будут совершенно те же самые, что и раньше. Там, где раньше не было никакого следа магнитной силы, теперь находится сильный полюс.

Как следует объяснить эти факты? Мы можем попробовать набросать теорию магнетизма, аналогичную теории электрических жидкостей. Это внушено тем обстоятельством, что здесь, как и в электростатических явлениях, мы имеем и притяжение, и отталкивание. Вообразим себе два проводника в форме шаров, обладающих равными зарядами, один — положительным, а другой — отрицательным. Здесь слово «равные» означает величины, имеющие одинаковое абсолютное значение: например, $+5$ и -5 имеют одинаковое абсолютное значение. Предположим, что шары связаны посредством изолятора, например стеклянного стержня. Схематически это устройство может быть представлено стрелкой, направленной от отрицательно заряженного проводника к положительно заряженному. Мы назовем это электрическим *диполем* (рис. 33). Ясно, что два таких диполя вели бы себя совершенно так же, как и магнитные стержни в эксперименте 1. Если мы рассматриваем наше изобретение как мо-

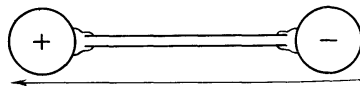


Рис. 33

дель реального магнита, мы можем сказать, предполагая существование магнитных жидкостей, что магнит—это не что иное, как магнитный диполь, имеющий на своих концах две жидкости разных родов. Эта простая теория, подражающая теории электричества, вполне подходит для объяснения первого эксперимента. По этой теории должно быть притяжение на одном конце, отталкивание на другом и уравнивание равных и противоположных сил в середине. Но как обстоит дело со вторым экспериментом? Разламывая стеклянный стержень электрического диполя, мы получаем два изолированных полюса. То же самое, казалось бы, должно быть и для железного стержня магнитного диполя, что противоречит результатам второго эксперимента.

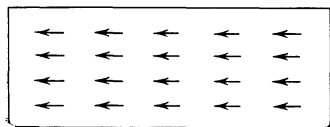


Рис. 34

одинаковое направление (рис. 34). Мы непосредственно видим, почему разрезание магнита вызывает появление двух новых полюсов на новых концах и почему эта более тонкая теория объясняет факты как эксперимента 1, так и эксперимента 2.

Многие факты можно объяснить и без этого уточнения теории. Возьмем пример: мы знаем, что магнит притягивает куски железа. Почему? В куске обычного железа обе магнитные жидкости смешаны так, что не обнаруживается никакого чистого эффекта. Поднесение положительного полюса действует, как «приказ к разделению» жидкостей в результате притяжения отрицательной жидкости в железе и отталкивания положительной. Возникает притяжение между железом и магнитом. Если магнит отодвинут, жидкости более или менее возвращаются к своему первоначальному положению, что зависит от того, в какой степени они «запоминают» приказ, исходящий от внешней силы.

Необходимо немного сказать о количественной стороне проблемы. Имея два очень длинных магнитных стержня, мы могли бы исследовать притяжение (или отталкивание) их полюсов, когда они близко поднесены друг к другу. Если стержни достаточно длинны, то действие других концов стержней ничтожно. Как зависит притяжение или отталкивание от расстояния между полюсами? Ответ, данный экспериментом Кулона, таков: зависимость от расстояния та же, что и в законе тяготения Ньютона, и в законе электростатики Кулона.

Таким образом, это противоречие вынуждает нас ввести несколько более уточненную теорию. Вместо нашей первоначальной модели мы можем представить себе, что магнит состоит из очень малых элементарных магнитных диполей, которые не могут быть разделены на отдельные полюсы. Во всем магните господствует порядок, ибо все элементарные диполи в нем имеют

Мы опять видим в этой теории отражение общей точки зрения: тенденцию описать все явления посредством сил притяжения и отталкивания, зависящих только от расстояния и действующих между неизменными частицами.

Здесь следовало бы упомянуть один хорошо известный факт, который мы используем в дальнейшем. Земля — это большой магнитный диполь. Нет ни малейшего намека на объяснение того, почему это так. Северный географический полюс почти совпадает с отрицательным (—) магнитным полюсом, а Южный географический полюс — с положительным (+) магнитным. Названия положительный и отрицательный — это дело лишь соглашения, но, поскольку они так однажды обозначены, это вынуждает нас и в любых других случаях соответственно различать полюсы. Магнитная игла, насаженная на вертикальную ось, подчиняется «приказу» магнитной силы Земли. Она направляет свой (+) полюс к Северному географическому полюсу, т. е. по направлению к (—) магнитному полюсу Земли.

Хотя в области указанных здесь электрических и магнитных явлений мы можем последовательно провести механистическую точку зрения, нет никакого основания гордиться этим или радоваться этому. Некоторые черты этой теории являются, конечно, неудовлетворительными, если не обескураживающими. Мы должны были изобрести новые виды субстанций: две электрические жидкости и элементарные магнитные диполи. Изобилие субстанций начинает становиться чрезмерным.

Силы просты. Они одинаково выражены для тяготения, электричества и магнетизма. Но цена, уплаченная за эту простоту, высока: введение новых невесомых субстанций. Они являются довольно искусственными понятиями и совершенно не связаны с веществом и его массой.

Первая серьезная трудность

Мы уже готовы к тому, чтобы отметить первую серьезную трудность в приложении нашей общей философской точки зрения. Позднее будет показано, что эта трудность, совместно с другими, еще более серьезными, привела к полному крушению уверенности в том, что все явления могут быть объяснены механистически.

Особенно быстрое развитие электричества как ветви науки и техники началось с открытия электрического тока. Здесь мы находим в истории науки один из очень немногих примеров, в которых случай сыграл существенную роль. История конвульсий лягушечьей лапки рассказана во многих вариантах. Не ручаясь за достоверность в отношении деталей, можно без сомнения сказать, что случайное открытие Гальвани привело

Вольта в конце восемнадцатого столетия к построению прибора, известного под названием *вольтовой батареи*. Теперь она практически не употребляется, но на нее еще указывают в школьных демонстрациях и в учебниках как на очень простой пример источника тока.

Принцип ее построения прост. Берется несколько стеклянных стаканов, из которых каждый содержит воду и немного серной кислоты. В каждом стакане погружены в раствор две металлические пластинки — одна медная, а другая цинковая. Медная пластинка одного стакана соединена с цинковой следующего, так что только цинковая пластинка первого стакана и медная последнего остаются несоединенными. Мы можем обнаружить разность электрических потенциалов между медной пластинкой первого стакана и цинковой последнего посредством весьма чувствительного электроскопа, если число «элементов», т. е. число стаканов с пластинками, составляющими батарею, достаточно велико.

Мы ввели батарею, составленную из некоторых элементов, только для того, чтобы получить нечто, легко измеряемое уже описанным прибором. Для дальнейших рассуждений с таким же успехом будет служить один элемент. Обнаруживается, что потенциал меди выше, чем потенциал цинка. Слово «выше» употребляется здесь в том же смысле, в каком $+2$ больше, чем -2 . Если один проводник связан со свободной медной пластинкой, а другой — с цинковой, оба станут заряженными, первый положительно, а второй отрицательно. На этой стадии рассуждений ничего особенно нового или поразительного не появилось, и мы можем потребовать применить наши предыдущие представления о разности потенциалов. Мы видели, что разность потенциалов между двумя проводниками можно быстро уничтожить посредством соединения проводников проволокой, в которой возникает поток электрической жидкости от одного проводника к другому. Этот процесс был уподоблен выравниванию температур тепловым потоком. Но производит ли поток в вольтовой батарее работу?

По словам Вольта, пластинки ведут себя как проводники:

«... слабо заряженные, которые действуют непрерывно или так, что их заряд после каждого разряда вновь восстанавливается; которые, одним словом, поставляют неограниченный заряд или производят непрерывное действие, или импульс электрической жидкости».

Результат этого эксперимента удивителен потому, что разность потенциалов между медной и цинковой пластинками не уменьшается как в случае двух заряженных проводников, связанных проволокой. Разность эта остается неизменной, и, согласно жидкостной теории, должен возникать постоянный поток электрической жидкости от высшего потенциального уровня (медная пластинка) к низшему (цинковая пластинка). Пытаясь спасти жидкостную теорию, мы можем предположить, что действует некоторая постоянная сила, которая возрождает разность потенциалов и вы-

зывает поток электрической жидкости. Но явление в целом удивительно, если рассматривать его с энергетической точки зрения. В проволоке, по которой течет ток, порождается заметное количество теплоты, достаточное даже для того, чтобы расплавить проволоку, если она тонка. Следовательно, в проволоке создается тепловая энергия. Но вся вольтова батарея образует изолированную систему, так как она не получает энергии извне. Если мы хотим спасти закон сохранения энергии, мы должны найти место, где происходят превращения, за счет которых создается теплота. Нетрудно установить, что в батарее происходят сложные химические процессы, в которых активное участие принимают как сам раствор, так и погруженные в него медь и цинк. С энергетической точки зрения здесь имеется цепь превращений: химическая энергия $\rightarrow$ энергия текущей электрической жидкости (тока) $\rightarrow$ теплота. Вольтова батарея не сохраняется вечно, химические изменения, связанные с потоком электричества, после некоторого времени делают батарею неработоспособной.

Эксперимент, который по-настоящему обнаружил большие трудности в применении механистических идей, должен для впервые слушающего о нем звучать странно. Он осуществлен Эрстедом около ста двадцати лет назад. Последний пишет:

«Этими экспериментами, кажется, показано, что магнитная стрелка сдвигалась из своего положения с помощью гальванического прибора, и именно, тогда, когда гальваническая цепь была замкнута, а не разомкнута, как напрасно считали несколько лет назад очень известные физики».

Предположим, что мы имеем вольтову батарею и кусок металлической проволоки. Если проволока соединена с медной пластинкой, но не связана с цинковой, то существует разность потенциалов, но ток течь не может. Предположим, что проволока изогнута в форме кольца, в центре которого расположена магнитная стрелка, причем как проволоочное кольцо, так и стрелка лежат в одной и той же плоскости. Пока проволока не прикасается к цинковой пластинке, ничего не происходит. Никаких действующих сил нет, наличие разности потенциалов не оказывает влияния на положение стрелки. Кажется трудным понять, почему «очень известные физики», как выразился Эрстед, ожидали такого влияния.

Соединим теперь проволоку с цинковой пластинкой. Немедленно произойдут странные вещи. Магнитная стрелка выходит из своего первоначального положения. Один из ее полюсов направлен к читателю, если страница этой книги представляет плоскость кольца (рис. 35, см. стр. 414). Опыт показывает, что на магнитный полюс действует сила, *перпендикулярная* к плоскости кольца. Перед лицом экспериментальных фактов мы едва ли можем избежать такого вывода о направлении действующей силы.

Этот эксперимент интересен, в первую очередь, тем, что он показывает связь между двумя на первый взгляд совершенно различными явлениями —

магнетизмом и электрическим током. Имеется и другой, даже более важный момент. Сила взаимодействия между магнитным полюсом и малыми отрезками проволоки, по которой течет ток, не должна лежать вдоль линий, связывающих проволоку и стрелку или частицы текущей электрической жидкости и элементарные магнитные диполи. Сила перпендикулярна к

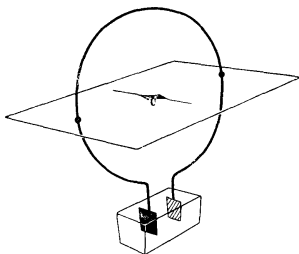


Рис. 35

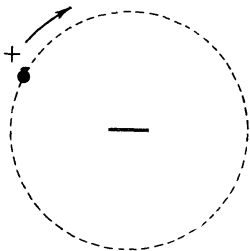


Рис. 36

этим линиям! Впервые появляется сила, совершенно отличная от тех сил, к которым, соответственно нашей механистической точке зрения, мы стремились свести все действия внешнего мира. Мы помним, что силы тяготения, электростатики, магнетизма, подчиняющиеся законам Ньютона и Кулона, действуют вдоль линии, соединяющей оба притягивающихся или отталкивающихся тела.

Эта трудность была еще более подчеркнута экспериментом, который с большим искусством осуществлен Роуландом почти шестьдесят лет назад. Оставляя в стороне технические детали, мы могли бы описать этот эксперимент следующим образом. Вообразим себе маленький заряженный шар (рис. 36). Представим себе далее, что этот шар очень быстро движется по окружности, в центре которой находится магнитная стрелка. Принципиально этот эксперимент таков же, что и эксперимент Эрстеда, единственное отличие состоит в том, что вместо обычного тока мы имеем механически совершающееся движение электрического заряда. Роуланд нашел, что результат в самом деле подобен тому, который наблюдался, когда по витку проволоки протекал ток. Магнит отклоняется силой, перпендикулярной рисунку.

Пусть теперь заряд движется быстрее. В результате сила, действующая на магнитный полюс, возрастает; отклонение магнита от его начального положения становится более заметным. Это наблюдение представляет новое большое усложнение. Не только направление силы не совпадает с ли-

нией, связывающей заряд и магнит, но и ее абсолютная величина зависит от скорости заряда. Вся механистическая точка зрения базировалась на уверенности в том, что все явления могут быть объяснены в рамках сил, зависящих только от расстояния, а не от скорости. Результат эксперимента Роуланда, конечно, подрывает эту уверенность. Все же мы можем попробовать остаться консервативными и искать решения в рамках старых идей.

Трудности этого рода, внезапные и неожиданные препятствия в триумфальном развитии теории, часто вырастают в науке. Иногда простое обобщение старых идей оказывается, по крайней мере временно, хорошим выходом. Например, в данном случае казалось бы достаточным расширить предыдущую точку зрения и ввести более общее понятие сил, действующих между элементарными частицами. Однако очень часто оказывается невозможным подправить старую теорию, и трудности приводят к ее упадку и к развитию новой. В данном случае сыграло роль не только поведение ничтожной магнитной иглы, которая разрушила на первый взгляд хорошо обоснованные и преуспевающие механистические теории. Следующий удар, еще более энергичный, был нанесен уже с другой стороны. Но это другая история, и мы расскажем ее позднее.

Скорость света

В галилеевых *«Беседах о двух новых науках»* мы находим разговор учителя и его учеников о скорости света:

Сагредо. Но какого рода и какой степени быстроты должно быть это движение света? Должны ли мы считать его мгновенным или же совершающимся во времени, как другие движения? Нельзя ли опытом убедиться, каково оно?

Симплицио. Повседневный опыт показывает, что распространение света совершается мгновенно. Если вы наблюдаете с большого расстояния действие артиллерии, то свет от пламени выстрелов без всякой потери времени запечатлевается в нашем глазу в противоположность звуку, который доходит до уха через значительный промежуток времени.

Сагредо. Ну, сеньор Симплицио, из этого общезвестного опыта я не могу вывести никакого другого заключения, кроме того, что звук доходит до нашего уха через большие промежутки времени, нежели свет; но это несколько не убеждает меня в том, что распространение света происходит мгновенно и не требует известного, хотя и малого времени...

Сальвиати. Малая доказательность этих и других подобных же наблюдений заставила меня подумать о каком-либо способе удостовериться безошибочно в том, что освещении, т. е. распространении света, совершается действительно мгновенно...

Далее Сальвиати продолжает объяснять метод своего эксперимента. Для того чтобы понять его идею, представим себе, что скорость света не только конечна, но и мала, что движение света замедлилось подобно тому, как может замедлиться на экране реальное движение при просмотре

замедленно движущейся пленки. Два человека, *A* и *B*, держат закрытые фонари и стоят, скажем, на расстоянии одного километра друг от друга. Первый человек, *A*, открывает свой фонарь. Оба они согласились, что *B* откроет свой фонарь в момент, когда он увидит свет *A*. Предположим, что в нашем «замедленном движении» свет проходит один километр в секунду. *A* посылает сигнал, открывая свой фонарь, *B* видит это спустя секунду и посылает ответный сигнал. Этот сигнал получает *A* спустя две секунды после того, как он послал свой сигнал. Иными словами, если свет движется со скоростью одного километра в секунду, то пройдет две секунды между посылкой и приемом сигналов *A*, если предположить, что *B* находится на расстоянии одного километра. Наоборот, если *A* не знает скорости света, но предполагает, что его компаньон действует так, как условились, и он заметил, что *B* открыл фонарь через две секунды после того, как он открыл свой, то он может заключить, что скорость света равна одному километру в секунду.

При той экспериментальной технике, какая была доступна во времена Галилея, не было шансов определить скорость света таким путем. Если расстояние было порядка одного километра, то он должен был бы определять промежутки времени порядка одной стотысячной секунды.

Галилей сформулировал проблему определения скорости света, но он не разрешил ее. Формулировка проблемы часто более существенна, чем ее разрешение, которое может быть делом лишь математического или экспериментального искусства. Постановка новых вопросов, развитие новых возможностей, рассмотрение старых проблем под новым углом зрения требуют творческого воображения и отражают действительный успех в науке. Принцип инерции, закон сохранения энергии были получены только благодаря новым и оригинальным идеям в отношении уже хорошо известных экспериментов и явлений. Много примеров такого рода можно найти на последующих страницах этой книги, где будет подчеркнута важность рассмотрения известных фактов в новом свете и будут описаны новые теории.

Возвращаясь к сравнительно простому вопросу об определении скорости света, мы можем заметить, что удивительно, почему Галилей не установил, что его эксперимент мог бы быть осуществлен значительно проще и точнее одним человеком. Вместо того, чтобы ставить на некотором расстоянии от себя своего компаньона, он мог бы установить там зеркало, которое автоматически посылало бы сигнал сразу же после его получения.

Около двухсот пятидесяти лет спустя зеркало использовал Физо, который был первым, кто определил скорость света с помощью экспериментов со светом, исходящим от земного источника. С помощью астрономических наблюдений скорость света была определена Рёмером гораздо раньше, хотя и с меньшей точностью.

Совершенно ясно, что благодаря своей огромной величине скорость света могла быть измерена только при условии, если расстояния были сравнимы с расстояниями между Землей и другими планетами Солнечной системы или же с помощью весьма утонченной экспериментальной техники. Первый метод — это метод Рёмера, второй же — метод Физо. Со времени этих первых экспериментов скорость света, представляющая весьма важную величину, измерялась много раз со все возрастающей точностью. В нашем столетии Майкельсон изобрел для этой цели весьма совершенную аппаратуру. Результат этих экспериментов можно выразить просто: скорость света *в вакууме* равна примерно 300 000 километров в секунду.

Свет как субстанция

Мы опять начинаем с нескольких экспериментальных фактов. Только что приведенная величина относится к скорости света *в вакууме*. Свет распространяется с этой скоростью в пустом пространстве. Мы можем видеть и через пустой стеклянный сосуд, когда из него удален воздух. Мы видим планеты, звезды, небесные тела, хотя свет доходит от них к нашим глазам через пустое пространство. Тот простой факт, что мы можем видеть через стеклянный сосуд, независимо от того, имеется ли внутри него воздух или нет, показывает нам, что наличие воздуха имеет весьма малое значение. На этом основании мы можем осуществлять оптические эксперименты в обыкновенной комнате с тем же самым эффектом, как если бы там не было воздуха.

Один из наиболее простых оптических фактов — это прямолинейное распространение света. Опишем примитивные эксперименты, показывающие это. Перед точечным источником помещен экран с отверстием. Точечный источник — это очень малый источник света, скажем, маленькое отверстие в закрытом фонаре. На отдаленной стене отверстие в экране будет представлено в виде светлого пятна на темном фоне. Рис. 37 показывает, как это явление связано с прямолинейным распространением света. Все подобные явления, даже в более сложных случаях, в которых, кроме света и тени, появляются еще и полутени, можно объяснить, если предположить, что и в вакууме, и в воздухе свет распространяется по прямым линиям.

Возьмем другой случай, когда свет проходит через вещество. Пусть световой пучок проходит через вакуум и падает на стеклянную пластинку. Что происходит? Если бы закон прямолинейного движения был по-прежнему справедлив, то путь светового пучка шел бы вдоль линии, указанной на рис. 38 пунктиром. Но в действительности это не так. Луч преломляется, как указано на рисунке. Явление, которое мы здесь наблюдаем, называется *рефракцией* (преломлением). Одной из многих демонстраций

рефракции является известный опыт с палкой, которая, будучи наполовину опущенной в воду, кажется переломленной.

Этих фактов достаточно для того, чтобы построить элементарную механическую теорию света. Наша цель здесь — показать, как идеи субстанции, частиц и сил проникли в область оптики и как в конечном счете потерпела крах старая точка зрения.

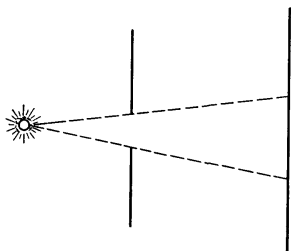


Рис. 37

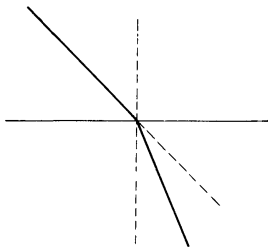


Рис. 38

Здесь теория приходит на ум в самой простой и примитивной форме. Предположим, что все светящиеся тела испускают частицы света, или *корпускулы*, которые, попадая в наши глаза, производят в них ощущение света.

Мы уже настолько привыкли вводить новые субстанции, если это необходимо для механистического объяснения, что можем сделать это еще раз без больших колебаний. Эти корпускулы должны проходить по прямым линиям через пустое пространство с известной скоростью, принося к нашим глазам сообщения от тел, испускающих свет. Все явления, показывающие прямолинейное распространение света, подкрепляют корпускулярную теорию света, ибо именно этот вид движения предписан корпускулам. Теория объясняет очень просто и отражение света зеркалом; это отражение того же рода, как и отражение, обнаруживаемое

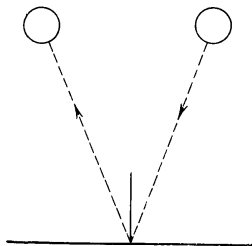


Рис. 39

в механических экспериментах с упругими мячами, ударяющимися в стену, как показывает рис. 39.

Объяснение рефракции немного труднее. Не входя в детали, мы все же видим возможность ее механистического объяснения. Если корпускулы

падают, например, на поверхность стекла, то возможно, что на них действует сила, создаваемая частицами вещества, которая довольно странно действует только в непосредственном соседстве с веществом. Как мы знаем, любая сила, действующая на движущуюся частицу, изменяет ее скорость. Если сила, действующая на световую корпускулу, есть притяжение, перпендикулярное к поверхности стекла, то новое движение луча будет где-то между линией первоначального пути и перпендикуляром к поверхности стекла. Кажется, что это элементарное объяснение обещает успех корпускулярной теории света. Однако, чтобы определить полезность и степень справедливости этой теории, мы должны исследовать новые и более сложные факты.

Загадка цвета

Все богатство цветов в природе впервые объяснил тот же гениальный Ньютон. Здесь мы даем описание одного из экспериментов Ньютона его собственными словами:

«В начале 1666 года (в это время я занимался шлифовкой стекол иных форм, чем сферические) я достал треугольную стеклянную призму, чтобы с нею произвести опыты над знаменитым явлением цветов. Для этой цели, затемнив свою комнату и проделав небольшое отверстие в оконных ставнях для пропускания в нужном количестве солнечного света, я поместил призму там, где входил свет, так что он мог преломляться к противоположной стене. Зрелище живых и ярких красок, получавшихся при этом, доставляло мне приятное удовольствие».

Солнечный свет — «белый». После прохождения через призму в нем обнаруживаются все цвета, которые существуют в нашем мире. Сама природа воспроизводит тот же самый опыт в великолепной цветовой палитре — радуге. Попытки объяснить это явление очень стары. Библейская легенда о том, что радуга — это божественный знак примирения с человеком, — это, в некотором смысле, тоже «теория». Но она не дает удовлетворительного объяснения, почему радуга время от времени повторяется и почему ее появление всегда связано с дождем. Вся загадка цвета впервые подверглась научному обсуждению, и разрешение ее было намечено в великой работе Ньютона.

Один край радуги всегда красный, а другой — фиолетовый. Между ними расположены все другие цвета. Приведем ньютоновское объяснение этого явления. Каждый цвет уже присутствует в белом свете. Все цвета передаются через межпланетное пространство и атмосферу совместно и дают эффект в виде белого света. Белый свет — это, так сказать, смесь разнородных корпускул, принадлежащих разным цветам. В эксперименте Ньютона призма разделяет их в пространстве. Согласно механической теории, рефракция (преломление) обязана силам, которые исходят

от частиц стекла и действуют на частицы света. Эти силы различны для корпускул, принадлежащих к различным цветам, они наибольшие для фиолетового и наименьшие для красного. Путь корпускул каждого отдельного цвета будет преломляться по-своему и будет отделяться от других, когда свет покидает призму. В радуге роль призм играют капли воды.

Субстанциональная теория света теперь более усложнена, чем прежде. Мы имеем уже не одну световую субстанцию, а множество, и каждая из них относится к отдельному цвету. Однако, если в теории имеется доля правды, ее следствия должны согласоваться с наблюдением.

Серии цветов в белом солнечном свете, обнаруженные экспериментом Ньютона, называются *солнечным спектром*, или, точнее, его *видимым спектром*. Описанное здесь разложение белого света на составляющие его компоненты называется *дисперсией* света. Разделенные цвета спектра можно было бы смешать снова вместе с помощью второй, должным образом приспособленной, призмы, если только данное объяснение не является ложным. Процесс был бы как раз обратным предыдущему. Мы получили бы белый свет из цветов, разделенных ранее. Ньютон экспериментально подтвердил, что в самом деле возможно этим путем получить белый свет из его спектра, а спектр — из белого света столько раз, сколько захочется. Эти эксперименты создали прочную основу для теории, в которой корпускулы, принадлежащие каждому цвету, ведут себя как неизменяемые субстанции. По этому поводу Ньютон писал:

«... эти цвета не порождены вновь, а лишь стали видными благодаря разделению, ибо, если их снова полностью смешать вместе, то они вновь составят тот свет, который они составляли до разделения. По той же причине изменения, которые получаются при соединении различных цветов, не реальны, ибо, если различные лучи вновь разъединить, они будут проявлять точно те же цвета, как и до вхождения в смесь. Как вы знаете, синие и желтые порошки при тонком смешивании кажутся невооруженному глазу зелеными, и все же цвета составляющих корпускул не изменились в действительности, а лишь смешались. Ибо, если посмотреть в хороший микроскоп, они по-прежнему будут казаться только синими и желтыми».

Предположим, что мы выделили очень узкую полосу спектра. Это означает, что из всего множества цветов мы позволили лишь одному пройти сквозь щель, другие же задержали экраном. Луч, который проходит сквозь щель, будет состоять из *однородного* света, т. е. света, который не может быть разделен на дальнейшие компоненты. Это следствие теории и его легко можно проверить экспериментально. Такой луч однородного цвета никаким путем нельзя разделить дальше. Имеется простой способ получения источников однородного света. Например, натрий, будучи раскален, испускает однородный желтый свет. Производить обычные оптические эксперименты с однородным светом часто очень удобно, ибо легко понять, что в этом случае результат будет гораздо проще.

Представим себе, что внезапно произошло очень странное событие: наше Солнце стало испускать только однородный свет некоторого определенного цвета, скажем, желтого. Тогда огромное многообразие цветов на Земле немедленно исчезло бы. Все выглядело бы либо желтым, либо черным! Это предсказание есть следствие субстанциональной теории света, ибо новые цвета не могут быть созданы.

Справедливость его можно проверить экспериментально: в комнате, где единственным источником света является раскаленный натрий, все кажется либо желтым, либо черным. Богатство красок в мире отражает многообразие цветов, из которых состоит белый свет. Субстанциональная теория света во всех этих случаях действует блестяще, хотя необходимость введения стольких субстанций, сколько имеется цветов, может нас несколько обеспокоить. Предположение, что все корпускулы света имеют одну и ту же скорость в пустом пространстве, также кажется очень искусственным.

Вполне можно представить себе, что другой ряд положений, теория совершенно другого характера, действовали бы столь же хорошо и давали бы все необходимые объяснения. В самом деле, скоро мы станем свидетелями развития другой теории, основанной на совершенно иных понятиях и все же объясняющей ту же самую область оптических явлений. Однако прежде чем сформулировать положения, лежащие в основе этой новой теории, мы должны осветить вопрос, никак не связанный с этими оптическими явлениями. Мы должны вернуться к механике и спросить: что такое волна?

Что такое волна?

Какая-нибудь сплетня, начавшаяся в Вашингтоне, очень быстро доходит до Нью-Йорка, несмотря на то, что ни одно лицо, принимавшее участие в ее распространении, не передвигалось между этими двумя городами. Имеются два совершенно различных способа передачи или движения слухов из Вашингтона в Нью-Йорк и движения лиц, передающих слух.

Порыв ветра, проносясь над хлебным полем, создает волну, которая распространяется по всему полю. И здесь опять мы должны делать различие между движением волны и движением отдельных растений, которые совершают лишь малые колебания. Все мы видели волны, которые распространяются все более и более широкими кругами, когда в воду брошен камень. Движение волны сильно отличается от движения частиц воды. Частицы движутся лишь вверх и вниз. Наблюдаемое движение волны — это перемещение некоторого состояния вещества, а не самого вещества. Пробка, плавающая на волне, ясно показывает это, ибо она движется вверх и вниз, подражая действительному движению воды, а не переносится вдоль волны.

Чтобы лучше понять механизм волны, рассмотрим опять идеализированный эксперимент. Предположим, что огромное пространство сплошь заполнено водой или воздухом, или какой-либо другой «средой». Где-то в центре имеется шар (рис. 40). В начале эксперимента никакого движения нет вовсе. Вдруг шар начинает ритмически «дышать», расширяясь и сжимаясь в объеме, однако все время оставаясь сферическим по форме. Что происходит в среде? Начнем рассмотрение в тот момент, когда шар начи-

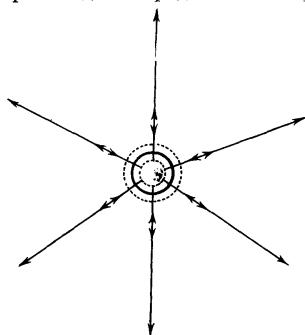


Рис. 40

нает расширяться. Частицы среды, находящиеся в непосредственной близости к шару, отталкиваются, так что плотность прилегающего к шару слоя воды или воздуха увеличивается против своего нормального значения. Точно так же, когда шар сжимается, то плотность той части среды, которая непосредственно окружает шар, будет уменьшаться. Эти изменения плотности распространяются во всей среде. Частицы, составляющие среду, проделывают лишь малые колебания, но движение в целом — это движение распространяющейся волны. Существенно новым здесь является то, что впервые мы рассматриваем движение чего-то, что есть не вещество, а энергия распространяющаяся в веществе.

Используя пример пульсирующего шара, мы можем ввести два общих физических понятия, важных для характеристики волн. Первое — это скорость, с которой распространяется волна. Она будет зависеть от среды и будет различна, например, для воды и воздуха. Второе понятие — *длина волны* — это расстояние от углубления одной волны до углубления следующей или же расстояние от гребня одной волны до гребня следующей. Морские волны имеют большую длину волны, чем волны на реке. В наших волнах, образующихся благодаря пульсации шара, длина волны — это расстояние, взятое в некоторый определенный момент между двумя соседними шаровыми слоями, у которых одновременно плотность имеет максимальное или минимальное значение. Очевидно, что это расстояние зависит не только от среды. Большое влияние будет, конечно, иметь быстрота пульсации шара; так, длина волны будет короче, если пульсация становится быстрее, и длиннее, если пульсация медленнее.

Это понятие волны оказывается очень удачным в физике. Оно является определенно механическим понятием. Явление сводится к движению частиц, которые, согласно кинетической теории, образуют вещество. Таким образом, всякая теория, которая употребляет понятие волны, может,

вообще говоря, считаться механической теорией. В частности, объяснение акустических явлений существенно опирается на это понятие. Колеблющиеся тела, например, такие, как голосовые связки или скрипичные струны, являются источниками звуковых волн, которые распространяются в воздухе, аналогично тому, как это имеет место для волн, образующихся от пульсирующего шара. Таким образом, с помощью понятия волны, можно все акустические явления свести к механическим.

Уже было подчеркнуто, что мы должны отличать друг от друга движения частиц и движение самой волны, которая является состоянием среды. Оба движения совершенно различны, но очевидно, что в нашем примере пульсирующего шара оба движения происходят вдоль одной и той же прямой. Частицы среды колеблются в небольших пределах, и плотность увеличивается и уменьшается периодически в соответствии с этим движением. Направление, в котором распространяются волны, и направление, вдоль которого совершаются колебания, одно и то же. Волны этого типа называются *продольными*. Но является ли этот тип волн единственным? Для наших дальнейших рассуждений важно ясно представить себе возможность другого типа волны, называемой *поперечной*.

Изменим наш предыдущий пример. Пусть мы по-прежнему имеем шар, но он погружен в среду другого рода: вместо воздуха или воды взято нечто вроде студня или желе. Больше того, шар больше не пульсирует, а поворачивается на небольшой угол сначала в одном направлении, а затем в обратном, всегда с одним и тем же ритмом и вокруг определенной оси (рис. 41). Желе прилипает к шару, и прилипающие частицы вынуждены повторять его движение. Эти частицы вынуждают частицы, расположенные немного дальше, повторять то же движение и т. д., так что в среде возникает волна. Если мы помним о различии между движением среды и движением волны, то мы видим, что в данном случае они явно не совпадают. Волна распространяется в направлении радиуса шара, а частицы среды движутся перпендикулярно к этому направлению. Следовательно, мы создали поперечную волну.

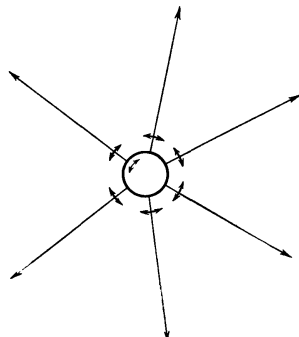


Рис. 41

Волны, распространяющиеся на поверхности воды, поперечны. Плавающая пробка движется вверх и вниз, а волна распространяется вдоль горизонтальной плоскости. С другой стороны, звуковые волны дают нам наиболее известный пример продольных волн.

Еще одно замечание: волна, созданная пульсирующим или колеблющимся в однородной среде шаром, — это *сферическая волна*. Она называется так потому, что в любой данный момент все точки среды, размещающиеся на любой сфере, окружающей источник, ведут себя одинаковым образом. Рассмотрим часть такой сферы на большом расстоянии от источника (рис. 42). Чем дальше от источника мы берем такую часть сферы и чем

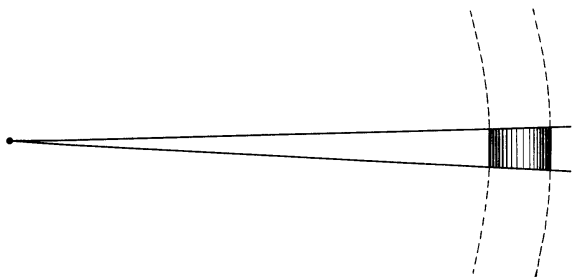


Рис. 42

меньшую часть мы берем, тем больше она похожа на часть плоскости. Не стремясь быть слишком строгими, мы можем сказать, что нет существенного различия между частью плоскости и частью сферы, радиус которой достаточно велик. Очень часто мы говорим о небольших частях сферической волны, далеко продвинувшейся от ее источника, как о *плоских волнах*. Чем дальше мы помещаем заштрихованную на рисунке часть поверхности от центра сферы и чем меньше угол между двумя радиусами, тем более она приближается к представлению о плоской волне. Понятие плоской волны, подобно многим другим физическим понятиям, есть не больше как абстракция, которую мы можем осуществить лишь с известной степенью точности. Тем не менее это — полезное понятие, и оно нам понадобится в дальнейшем.

Волновая теория света

Вспомним, почему мы прекратили описание оптических явлений. Нашей целью было ввести другую теорию света, отличную от корпускулярной, но также пытающуюся объяснить ту же область фактов. Чтобы сделать это, мы должны были прервать наш рассказ и ввести понятие волн. Теперь мы можем вернуться к нашему предмету.

Первым, кто выдвинул совершенно новую теорию света, был современник Ньютона — Гюйгенс. В своем трактате о свете он писал:

«Если, кроме того, свет употребляет для своего прохождения некоторое время, — что мы сейчас проверим, — то из этого следует, что это движение, сообщенное окружающей материи, следует одно за другим во времени; поэтому оно, подобно звуку, распространяется сферическими поверхностями и волнами; я называю их волнами по тому сходству, которое они имеют с волнами, образующимися на воде, когда в нее брошен камень, и представляющими собой последовательно расширяющиеся круги, хотя они и возникают от другой причины и находятся лишь на плоской поверхности».

По Гюйгенсу, свет — это волна, передача энергии, а не субстанции. Мы видели, что корпускулярная теория объясняет многие наблюдаемые факты. В состоянии ли это сделать и волновая теория? Мы должны снова поставить те вопросы, на которые уже дали ответ с помощью корпускулярной теории, чтобы увидеть, может ли волновая теория ответить на них с таким же успехом. Сделаем это здесь в форме диалога между Н и Г, где Н — собеседник, убежденный в справедливости корпускулярной теории Ньютона, а Г — собеседник, убежденный в справедливости теории Гюйгенса. Ни тому, ни другому не разрешено применять доводов, полученных после того, как работа обоих великих мастеров была закончена.

Н. В корпускулярной теории скорость света имеет вполне определенный смысл. Это — скорость, с которой корпускулы движутся в пустом пространстве. Что она означает в волновой теории?

Г. Конечно, она означает скорость световой волны. Всякому известно, что волна распространяется с некоторой определенной скоростью, и то же должно быть с волнами света.

Н. Это не так просто, как кажется. Звуковые волны распространяются в воздухе, морские волны — в воде. Каждая волна должна иметь материальную среду, в которой она распространяется. Но свет проходит через вакуум, в то время как звук не проходит. Предположить волну в пустом пространстве фактически означает вовсе не предполагать никакой волны.

Г. Да, это трудность, хотя и не новая для меня. Мой учитель изучал ее очень внимательно и решил, что единственный выход — предположить существование гипотетической субстанции, *эфира*, — передающей среды, заполняющей всю Вселенную. Вселенная, так сказать, погружена в эфир. Если у нас есть смелость ввести это понятие, то все становится ясным.

Н. Но я возражаю против такого предположения. Во-первых, оно вводит новую гипотетическую субстанцию, а мы уже имеем слишком много субстанций в физике. Имеется также и другой довод против него. Вы не сомневаетесь в том, что мы должны все объяснять, оставаясь в пределах механики. А как относительно эфира? В состоянии ли Вы ответить на простой вопрос о том, как эфир построен из своих элементарных частей и как он обнаруживается в других явлениях?

Г. Ваше первое возражение, конечно, справедливо. Но, вводя некий искусственный невесомый эфир, мы сразу освобождаемся от гораздо более искусственных световых корпускул. Мы имеем только одну «тайнственную» субстанцию вместо бесконечного числа их, соответствующего огромному числу цветов в спектре. Не кажется ли Вам, что это и есть настоящий прогресс? По крайней мере все трудности сконцентрированы в одном пункте. Мы не нуждаемся больше в искусственном предположении, что частицы, относящиеся к различным цветам, движутся с одной и той же скоростью в пустом пространстве. Ваше второе возражение тоже справедливо. Мы не можем дать механического объяснения эфира. Но нет никакого сомнения в том, что дальнейшее изучение оптических и, может быть, других явлений обнаружит его структуру. В настоящее время мы должны ожидать новых экспериментов и заключений, но я надеюсь, что, в конце концов, мы сможем разрешить проблему о механической структуре эфира.

Н. Оставим на время этот вопрос, так как он не может быть разрешен теперь. Мне хотелось бы видеть, как Ваша теория, даже если мы отбросим трудности, объясняет те явления, которые так ясны и понятны в корпускулярной теории. Возьмем, например, тот факт, что световые лучи проходят в *вакууме* или в воздухе вдоль прямых. Кусок бумаги, помещенный перед свечой, создает четкую и резко очерченную тень на стене. Резкие тени были бы невозможны, если бы волновая теория была правильна, ибо волны огибали бы края бумаги и тем самым размазывали бы тень. Маленькое судно не является препятствием для морских волн, как вы знаете; они просто огибают его, не отбрасывая тени.

Г. Это неубедительный довод. Возьмите короткие волны на реке, ударяющие о борт большого корабля. Волны, возникающие на одной стороне корабля, не будут видны на другой. Если волны достаточно малы, а корабль достаточно велик, появляется очень четкая тень. Очень возможно, что свет кажется нам проходящим по прямым линиям лишь потому, что его длина волны очень мала в сравнении с размерами обычных препятствий и отверстий, употребляемых в экспериментах. Возможно, что, если бы мы могли создать достаточно малые препятствия, никакой тени не было бы. Мы можем встретиться с большими экспериментальными трудностями в конструировании приборов, которые могли бы показать, в состоянии ли свет огибать препятствия. Тем не менее, если бы такой эксперимент можно было осуществить, он был бы решающим в борьбе между волновой и корпускулярной теориями света.

Н. Волновая теория может привести к новым фактам в будущем, но я не знаю каких-либо данных, убедительно ее подтверждающих. Пока с определенностью не доказано экспериментально, что свет может огибать препятствия, я не вижу какого-либо основания отказываться от корпускулярной теории, которая кажется мне проще и потому лучше, чем волновая.

На этом мы можем прервать диалог, хотя предмет его никоим образом не исчерпан.

Остается еще показать, как волновая теория объясняет преломление света и многообразие цветов. Как мы знаем, корпускулярная теория в состоянии дать такое объяснение. Мы начнем с преломления, но сначала будет полезно рассмотреть пример, не имеющий ничего общего с оптикой.

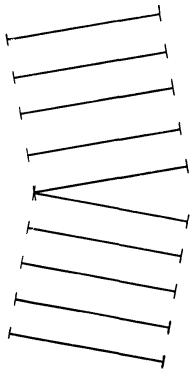


Рис. 43

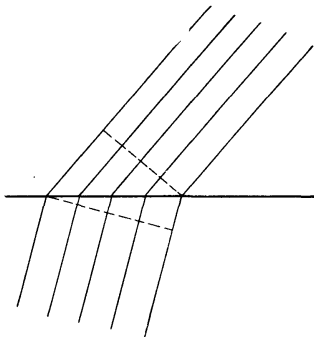


Рис. 44

Пусть по большому открытому пространству прогуливаются два человека, держащие между собой твердый прут. Вначале они идут прямо вперед, оба с одинаковой скоростью. Пока их скорости одинаковы, велики они или малы — безразлично; прут будет совершать параллельное перемещение, т. е. он не будет поворачиваться или изменять свое направление. Все последовательные положения прута параллельны друг другу. Но представим себе теперь, что в течение очень короткого времени, может быть, равного долям секунды, движения обоих людей стали неодинаковыми. Что произойдет? Ясно, что в течение этого времени прут будет поворачиваться, так что он не будет больше перемещаться параллельно своему первоначальному положению. Когда опять возобновится движение с равными скоростями, оно будет иметь направление, отличное от первоначального (см. рис. 43.) Изменение направления происходит в течение того промежутка времени, в котором скорость обоих пешеходов была различной.

Этот пример позволит нам понять преломление волны. Плоскость волны, движущейся в эфире, достигает поверхности стекла. На рис. 44 мы

видим волну со сравнительно широким фронтом, который перемещается вперед. Фронт волны — это плоскость, в которой в любой момент времени все части эфира находятся в одинаковом состоянии. Так как скорость зависит от среды, через которую в данный момент времени проходит свет, то скорость в стекле будет отличаться от скорости в пустом пространстве. В течение очень короткого времени, за которое фронт волны входит в стекло, различные части фронта волны будут иметь различные скорости. Ясно, что те части, которые уже достигли стекла, будут двигаться со скоростью света в стекле, в то время как другие части по-прежнему движутся со скоростью света в эфире. Благодаря этой разности в скоростях вдоль фронта волны, существующей в течение времени «погружения» в стекло, направление самой волны будет изменяться.

Итак, мы видим, что не только корпускулярная, но и волновая теория приводит к объяснению преломления. Дальнейшее рассмотрение и некоторое применение математики показывают, что объяснение волновой теории проще и лучше и что следствия из нее находятся в полном согласии с наблюдением. В самом деле, количественные методы рассмотрения позволяют нам вывести скорость света в преломляющей среде, если мы знаем, как преломляется луч, когда он входит в нее. Прямые измерения блестяще подтверждают эти предсказания, а тем самым и волновую теорию света.

Остается еще вопрос о цвете.

Необходимо вспомнить, что волна характеризуется двумя числами — скоростью и длиной волны. Весьма существенным является следующее утверждение волновой теории света: *волны различной длины соответствуют различным цветам*. Длина волны однородного желтого света отлична от длины волны синего или фиолетового. Вместо искусственного разделения корпускул, относящихся к разным цветам, мы имеем естественное различие по длине волны.

Отсюда следует, что эксперименты Ньютона по дисперсии света могут быть описаны двумя различными языками — языком корпускулярной теории и языком волновой теории. Например:

Корпускулярный язык

Корпускулы, относящиеся к различным цветам, имеют одинаковую скорость в *вакууме*, но различные скорости в стекле.

Белый свет — это совокупность корпускул, относящихся к различным цветам, в то время как в спектрах они разделены.

Волновой язык

Лучи различных длин волн, относящиеся к различным цветам, имеют одинаковую скорость в эфире, но различные скорости в стекле.

Белый свет — это совокупность волн всех длин, в то время как в спектре они разделены.

Кажется, было бы мудрым избежать двусмысленности, происходящей из факта существования двух различных теорий одних и тех же явлений, решив в пользу одной из них после внимательного рассмотрения достоинств и недостатков каждой. Диалог между Н и Г показывает, что это нелегкая задача. Решение с этой точки зрения было бы скорее делом вкуса, чем делом научного убеждения. Во времена Ньютона и сто лет спустя большинство физиков предпочитало корпускулярную теорию.

История вынесла свой приговор в пользу волновой теории и против корпускулярной гораздо позднее, в середине девятнадцатого столетия. Н в своем разговоре с Г заявлял, что в принципе возможно было экспериментальное решение спора между обеими теориями. Корпускулярная теория не разрешает свету огибать препятствия и требует наличия четких теней. Согласно же волновой теории, достаточно малые препятствия не будут отбрасывать никакой тени. В работах Юнга и Френеля этот результат был получен экспериментально; там же были сделаны теоретические выводы.

Мы уже обсуждали чрезвычайно простой эксперимент, в котором экран с отверстием помещался перед точечным источником света, а тень отбрасывалась на стену. В дальнейшем мы упростим эксперимент, полагая, что источник испускает однородный свет. Для получения наилучших результатов источник света должен быть сильным. Представим себе, что отверстие в экране делается все меньше и меньше. Если в нашем распоряжении есть сильный источник и нам удастся сделать отверстие достаточно малым, то обнаруживаются новые и удивительные явления, совершенно непонятные с точки зрения корпускулярной теории. Нет больше резкого различия между светом и темнотой. Свет постепенно блекнет, переходя в темный фон через серию светлых и темных колец. Появление колец очень характерно для волновой теории. Объяснение чередования светлых и темных полос будет ясно в случае несколько иной экспериментальной установки. Предположим, что мы имеем лист черной бумаги с двумя булавочными дырочками, через которые может проходить свет. Если дырочки близко примыкают друг к другу и очень малы и если однородный свет достаточно силен, то на стене появится множество светлых и темных полос, постепенно ослабевающих и переходящих в темный фон. Объяснение очень простое. Темная полоса появляется там, где впадина волны от одной дырочки встречается с гребнем волны от другой, так что обе погашаются. Полоса света — там, где встречаются две впадины или два гребня от волн, идущих от обеих дырочек, и усиливают друг друга. Сложнее объяснение темных и светлых колец в предыдущем примере, в котором мы применяли экран с одним отверстием, но принципиально оно то же самое. Это появление темных и светлых полос при прохождении света через две щели и темных и светлых колец при прохождении отверстия следует иметь в виду, ибо позднее мы вернемся к обсуждению обеих различных картин.

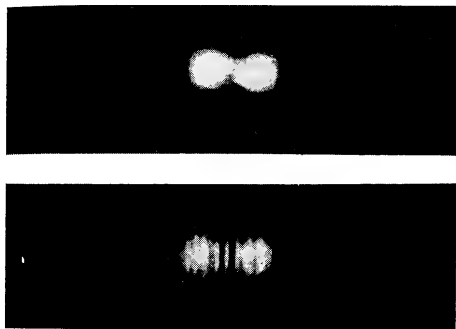


Рис. 45. Вверху мы видим фотографию световых пятен, после того как два луча прошли через два маленьких отверстия, один за другим (сначала была открыта одна щель; затем она закрывалась, а другая открывалась). Внизу мы видим полосы, полученные в результате того, что луч прошел через оба маленьких отверстия одновременно.

(Фотография
В. Аркадьева)

Описанные здесь эксперименты обнаруживают *дифракцию* света — отклонение света от прямолинейного распространения, когда на пути световых волн расположены малые отверстия или препятствия (рис. 45, 46, 47).

С помощью математики мы в состоянии пойти гораздо дальше. Можно установить, как велика, вернее, как мала должна быть длина волны, чтобы создать дифракционную картину. Таким образом, описанные эксперименты позволяют нам определить длину волны однородного света. Чтобы дать представление о том, как малы эти величины, мы укажем длины волн крайних лучей видимого солнечного спектра, т. е. длины волн красного и фиолетового лучей.

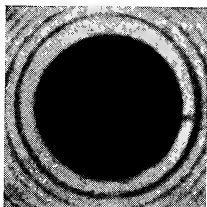


Рис. 46. Дифракция света в результате огибания лучом очень малого препятствия.

(Фотография В. Аркадьева)

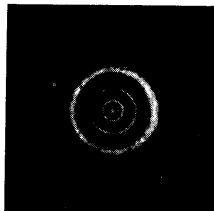


Рис. 47. Дифракция света в результате прохождения луча через очень малое отверстие

(Фотография В. Аркадьева)

Длина волны красного света равна 0,00008 см.

Длина волны фиолетового света равна 0,00004 см.

Мы не должны удивляться, что эти величины очень малы. Точно очерченная тень, т. е. явление прямолинейного распространения света, наблюдается в природе лишь потому, что обычно встречающиеся отверстия и препятствия чрезвычайно велики по сравнению с длиной волны света. Свою волновую природу свет обнаруживает лишь тогда, когда применяются очень малые отверстия и препятствия.

Но история поисков теории света никоим образом не окончена. Приговор девятнадцатого столетия не был последним и окончательным. Для современных физиков вся проблема выбора между корпускулами и волнами существует вновь, теперь уже в гораздо более глубокой и сложной форме. Примем поражение корпускулярной теории света до тех пор, пока мы не обнаружим, что характер победы волновой теории проблематичен.

Продольны или поперечны световые волны?

Все рассмотренные нами оптические явления говорят в пользу волновой теории. Искривление луча света у краев малых отверстий и препятствий и объяснение преломления — это самые сильные аргументы в ее пользу. Руководствуясь механистической точкой зрения, мы признаем, что остается еще один вопрос, на который следует ответить: определение механических свойств эфира. Для решения этой проблемы существенно знать, продольны или поперечны световые волны в эфире. Другими словами: распространяется ли свет подобно звуку? Вызвана ли волна изменением плотности среды, т. е. совершаются ли колебания частиц в направлении распространения? Или эфир похож на упругий студень — на среду, в которой могут осуществляться лишь поперечные волны и в которой частицы движутся в направлении, перпендикулярном к направлению распространения самих волн?

Прежде чем решить эту проблему попробуем определить, какой ответ следует предпочесть. Очевидно, мы должны были бы радоваться, если бы световые волны оказались продольными. В этом случае трудности в описании механического эфира были бы не так велики. Картина строения эфира могла бы, вероятно, быть чем-то вроде механической картины строения газа, которая объясняет распространение звуковых волн. Было бы гораздо труднее создать картину строения эфира, передающего поперечные волны. Представить себе среду в виде студия или желе, построенную из частиц таким образом, что через нее распространяются поперечные волны, — это не легкая задача. Гюйгенс был убежден, что эфир скорее окажется «воздухообразным», чем «желеобразным». Но природа очень мало внимания

обращает на наши трудности. Была ли природа в этом случае милосердна к попыткам физиков понять все явления с механистической точки зрения? Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны обсудить некоторые новые эксперименты.

Мы рассмотрим подробно лишь один из многих экспериментов, который в состоянии дать нам ответ. Предположим, что мы имеем очень тонкую пластинку из турмалинового кристалла, вырезанную особым образом, в описании которого здесь нет необходимости. Пластинка кристалла должна быть настолько тонка, чтобы можно было видеть сквозь нее источник света. Возьмем теперь две такие пластинки и поместим их между глазами и источником света (рис. 48). Что мы увидим? Опять световую точку, если пластинки достаточно тонки. Очень велики шансы того, что эксперимент подтвердит наше ожидание. Не задаваясь целью установить, каковы эти шансы, допустим, что мы уже видим световую точку через оба кристалла. Будем теперь постепенно изменять положение одного кристалла, поворачивая его. Это предложение будет иметь смысл лишь в том случае, если положение оси, вокруг которой происходит вращение, фиксировано. Мы возьмем в качестве оси линию, определяемую проходящим лучом.

Это означает, что мы перемещаем все точки одного кристалла, кроме тех, которые лежат на оси. Но что за странная вещь! Свет делается все слабее и слабее, пока не исчезает совершенно. Затем он вновь появляется, по мере того, как продолжается вращение, и вновь приобретает первоначальный вид, когда достигается первоначальное положение.

Не входя в детали подобных экспериментов, мы можем задать следующий вопрос: можно ли объяснить эти явления, если световые волны продольны? Если бы волны были продольны, частицы эфира должны были бы двигаться вдоль оси, т. е. в том же направлении, в каком идет луч. Если кристалл вращается, ничего вдоль оси не изменяется. Точки на оси не передвигаются, и лишь очень небольшое смещение имеет место вблизи оси. Такого ясно различного изменения, и появление новой картины, не могло бы возникнуть для продольной волны. Это, а также и многие другие подобные явления, могут быть объяснены лишь в том случае, если предположить, что световые волны не продольны, а поперечны! Или, другими словами, нужно предположить «желеобразный» характер эфира.

Это очень печально! Мы должны подготовиться к встрече непреодолимых трудностей в попытке механического описания эфира.

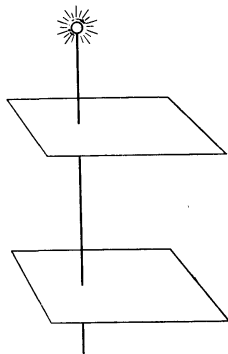


Рис. 48

Эфир и механистическое воззрение

Обсуждение всех различных попыток описать механическую природу эфира как среды, передающей свет, привело бы к длинной истории. Механическая конструкция означает, как мы знаем, что субстанция состоит из частиц, между которыми вдоль прямой линии, соединяющей их, действуют силы, зависящие только от расстояния. Для того чтобы построить эфир в виде желеобразной механической субстанции, физики должны принять несколько чрезвычайно неестественных предположений. Мы не будем приводить их здесь: они относятся к почти забытому прошлому. Но результат был значителен и важен. Искусственный характер всех этих предположений, необходимость введения такого множества их, причем все они совершенно независимы друг от друга, — все это было недостаточным, чтобы подорвать уверенность в механистической точке зрения.

Но имеются другие и более простые возражения против эфира, чем трудности его построения. Если мы хотим объяснить оптические явления механистически, то следует предположить, что эфир существует повсюду. Если свет передается только в среде, то не может быть никакого пустого пространства.

Однако из механики мы знаем, что межзвездное пространство не оказывает сопротивления движению материальных тел. Планеты, например, проходят через эфир-желе, не встречая какого-либо сопротивления своему движению, которое должна была бы оказать материальная среда. Если же эфир не нарушает движения вещества, то не может быть никакого взаимодействия между частицами эфира и частицами вещества. Свет проходит через эфир, а также через стекло и воду, но его скорость изменяется в последних субстанциях. Как можно объяснить этот факт механистически? По-видимому, лишь предполагая некоторое взаимодействие между частицами эфира и частицами вещества. Мы только что видели, что для свободно движущихся тел следует предположить, что такого взаимодействия не существует. Другими словами, существует взаимодействие между эфиром и веществом в оптических явлениях, но не существует никакого взаимодействия в механических явлениях! Это, конечно, очень парадоксальное заключение!

По-видимому, из всех этих трудностей будет единственный выход. При попытке понять явления природы с механистической точки зрения на всем протяжении развития науки до двадцатого столетия было необходимо вводить искусственные субстанции, такие, как электрические и магнитные жидкости, световые корпускулы или эфир. Результатом было только то, что все эти трудности концентрировались в нескольких существенных пунктах, таких, как эфир, в случае оптических явлений. Здесь

все бесплодные попытки построить эфир простым путем, так же как и другие возражения, обнаруживают, что ошибка лежит в фундаментальном положении о том, что все явления в природе можно объяснить с механистической точки зрения. Наука не имела успеха в последовательном проведении механистической программы, и сегодня ни один физик не верит в возможность ее выполнения.

В нашем кратком обзоре принципиальных идей физики мы встретили ряд нерешенных проблем, пришли к трудностям и препятствиям, которые обескуражили ученых в попытках сформулировать единое и последовательное воззрение на все явления внешнего мира. В классической механике мы встретили незамеченную руководящую нить исследования — равенство тяжелой и инертной масс. Обнаружен искусственный характер электрической и магнитной жидкостей. Во взаимодействии между электрическим током и магнитной иглой встретились неразрешенные трудности. Следует напомнить, что эта сила действовала не по линии, соединяющей проводник и магнитный полюс, и зависела от скорости движущегося заряда. Закон, выражающий ее направление и величину, был чрезвычайно сложен. И, наконец, установлено наличие больших трудностей с эфиром.

Современная физика атаковала все эти проблемы и разрешила их. Но в борьбе за эти решения возникли новые и более глубокие проблемы. Наши знания теперь шире и глубже, чем знания физика девятнадцатого столетия, но таковы же и наши сомнения и трудности.

Подведем итоги.

В старой теории электрических жидкостей, в корпускулярной и волновой теориях света мы видим дальнейшие попытки применить механистическое воззрение. Но в области электрических и оптических явлений это применение встречает большие трудности.

Движущийся заряд действует на магнитную иглу, причем сила зависит не только от расстояния, но и от скорости заряда. Сила эта не отталкивает, и не притягивает, а действует перпендикулярно к линии, соединяющей иглу и заряд.

В оптике мы должны отдать предпочтение волновой теории света перед корпускулярной. Волны, распространяющиеся в среде, состоящей из частиц, между которыми действуют механические силы,— это, конечно, механическое понятие. Но что это за среда, в которой распространяется свет, и каковы ее механические свойства? Пока этот вопрос остается без ответа, нет никаких надежд свести оптические явления к механическим. Но трудности в разрешении этой проблемы так велики, что мы должны отказаться от этого пути, стало быть, должны отказаться и от механистических воззрений.

III. ПОЛЕ И ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ

Представление о поле

Во второй половине девятнадцатого столетия в физику были введены новые и революционные идеи; они открыли путь к новому философскому взгляду, отличающемуся от механистического. Результаты работ Фарадея, Максвелла и Герца привели к развитию современной физики, к созданию новых понятий, образующих новую картину мира.

Наша задача сейчас — описать переворот, произведенный в науке этими новыми понятиями, и показать, как они постепенно приобрели ясность и силу. Мы постараемся построить линию развития логически, не очень заботясь о хронологическом порядке.

Новые понятия возникли в связи с изучением электрических явлений, но проще ввести их впервые через механику. Мы знаем, что две частицы притягивают друг друга и что сила их притяжения уменьшается с квадратом расстояния. Мы можем изобразить этот факт иным образом, что мы и сделаем, хотя и трудно понять преимущества нового метода. Маленький круг на рис. 49 представляет притягивающее тело, скажем, Солнце. В действительности нашу картину следовало бы представить как модель в пространстве, а не как рисунок на плоскости. Тогда небольшой круг стал бы в пространстве сферой, представляющей Солнце. Тело, которое мы будем называть *пробным телом*, помещенное куда-либо по соседству с Солнцем, будет притягиваться к Солнцу, причем сила притяжения будет направлена по линии, соединяющей центры обоих тел. Таким образом, линии на нашем рисунке указывают направление силы притяжения Солнца для различных положений пробного тела. Стрелки на каждой линии показывают, что сила направлена к Солнцу; это означает, что данная сила есть сила притяжения. Это — *силовые линии поля тяготения*. Пока это только название, и нет основания останавливаться на нем подробнее. Наш рисунок имеет одну характерную черту, которую мы рассмотрим позднее. Силовые линии построены в пространстве, где нет никакого

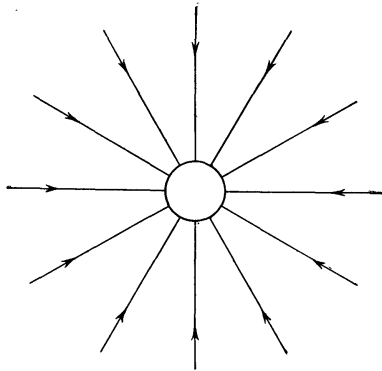


Рис. 49

вещества. Пока все силовые линии, короче говоря, *поле*, показывают только, как будет вести себя пробное тело, помещенное вблизи сферического тела, для которого построено поле.

Линии в нашей пространственной модели всегда перпендикулярны поверхности сферы. Поскольку они расходятся из одной точки, они более плотно расположены вблизи сферы и все более и более расходятся друг от друга по мере удаления от нее. Если мы увеличиваем расстояние от сферы в два или три раза, то плотность линий в пространственной модели (но не на нашем рисунке!) будет в четыре или в девять раз меньше. Таким образом, линии служат двум целям. С одной стороны, они показывают направление сил, действующих на тело, помещенное по соседству со сферой — Солнцем, с другой стороны, плотность расположения силовых линий показывает, как сила изменяется с расстоянием. Изображение поля на рисунке, правильно истолкованное, характеризует направление силы тяготения и ее зависимость от расстояния. Из такого рисунка закон тяготения можно прочесть так же хорошо, как и из описания его действия словами, или же точным и скучным языком математики. Это *представление о поле*, как мы назовем его, может казаться ясным и интересным, но нет основания думать, что введение его означает какой-либо реальный прогресс. Было бы трудно доказать его полезность в случае тяготения. Может быть, кто-либо найдет полезным считать эти линии не просто рисунком, а чем-то большим, и представит себе реальные действия сил проходящими вдоль линий. Это можно сделать, но тогда скорость действия вдоль силовых линий нужно считать бесконечно большой. Сила, действующая между двумя телами, согласно закону Ньютона, зависит только от расстояния; время не входит в рассмотрение. На передачу силы от одного тела к другому не требуется времени. Но, поскольку движение с бесконечной скоростью ничего не говорит всякому разумному человеку, постольку попытка сделать наш рисунок чем-либо большим, чем модель, ни к чему не приводит. Но мы не намерены обсуждать сейчас проблему тяготения. Она послужила нам лишь введением, упрощающим объяснение аналогичных методов рассуждения в теории электричества.

Мы начнем с обсуждения эксперимента, который привел к серьезным трудностям в механистическом воззрении. Пусть мы имеем ток, текущий по проводнику, имеющему форму окружности. В центре этого витка находится магнитная стрелка. В момент возникновения тока появляется новая сила, действующая на магнитный полюс и перпендикулярная линии, соединяющей проволоку и полюс. Эта сила, вызванная движущимся по окружности зарядом, зависит, как показал опыт Роуланда, от скорости заряда. Эти экспериментальные факты противоречат привычному взгляду, согласно которому все силы должны действовать по линии, соединяющей частицы, и могут зависеть только от расстояния.

Точное выражение для силы, с которой ток действует на магнитный полюс, очень сложно; в самом деле, оно гораздо сложнее выражения сил тяготения. Но мы можем постараться представить ее действия так же отчетливо, как это мы делали в случае силы тяготения. Наш вопрос таков: с какой силой действует ток на магнитный полюс, помещенный где-либо поблизости от проводника, по которому идет ток? Было бы довольно трудно

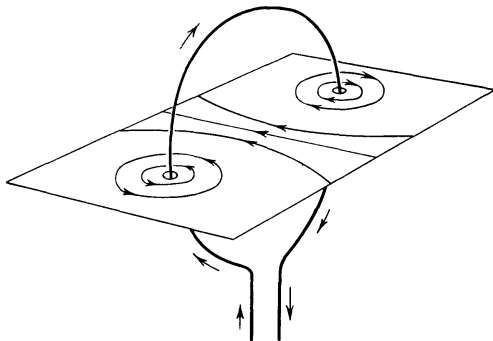


Рис. 50

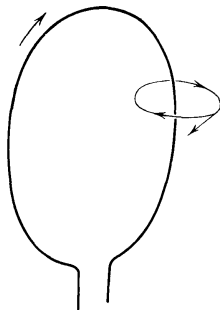


Рис. 51

описать эту силу словами. Даже математическая формула была бы сложной и неудобной. Гораздо лучше представить все, что мы знаем о действии сил, с помощью рисунка или, вернее, с помощью пространственной модели с силовыми линиями. Некоторые трудности вызваны тем, что магнитный полюс существует только в связи с другим магнитным полюсом, образуя диполь. Однако мы всегда можем вообразить себе магнитный диполь такой длины, что можно будет учитывать силу, действующую только на тот полюс, который помещен вблизи тока. Другой же полюс можно считать настолько удаленным, что силу, действующую на него, можно не принимать во внимание. Для определенности будем считать, что магнитный полюс, помещенный вблизи проволоки, по которой течет ток, является *положительным*.

Характер силы, действующей на положительный магнитный полюс, можно увидеть из рис. 50. Стрелки около проволоки показывают направление тока от высшего потенциала к низшему.

Все другие линии — силовые линии поля этого тока, лежащие в определенной плоскости. Если рисунок сделан должным образом, то эти

линии могут дать нам представление как о направлении вектора, характеризующего действие тока на положительный магнитный полюс, так и о длине этого вектора. Сила, как мы знаем, является вектором, и, чтобы определить ее, мы должны знать направление вектора и его длину. Нас интересует главным образом вопрос о направленности силы, действующей на полюс. Наш вопрос таков: как мы можем найти, исходя из рисунка, направление силы в любой точке пространства?

Правило определения направления силы для такой модели не так просто, как в предыдущем примере, где линии сил были прямыми. Чтобы облегчить рассуждения, на следующем рисунке (рис. 51) нарисована только одна силовая линия. Силовой вектор лежит на касательной к силовой линии, как указано на рисунке. Стрелка силового вектора совпадает по направлению со стрелками на силовых линиях. Следовательно, это — направление, в котором сила действует на магнитный полюс в данной точке. Хороший рисунок или, вернее, хорошая модель, говорит нам: кое-что также и о длине силового вектора в любой точке. Этот вектор должен быть длиннее там, где линии расположены более плотно, т. е. вблизи проводника, и короче там, где линии расположены менее плотно, т. е. вдали от проводника.

Таким способом силовые линии или, другими словами, поле позволяет нам определить силы, действующие на магнитный полюс в любой точке пространства. Пока это — единственное оправдание для тщательного построения поля. Зная, что выражает поле, мы рассмотрим с более глубоким интересом силовые линии, связанные с током. Эти линии суть окружности; они окружают проводник и лежат в плоскости, перпендикулярной плоскости, в которой расположена петля с током. Рассматривая характер силы по рисунку, мы еще раз приходим к заключению, что сила действует в направлении, перпендикулярном любой линии, соединяющей проводник и полюс, ибо касательная к окружности всегда перпендикулярна ее радиусу. Все наше знание о действии сил мы можем суммарно выразить в построении поля. Мы вводим понятие поля наряду с понятиями тока и магнитного полюса для того, чтобы более просто представить действующие силы.

Всякий ток связан с магнитным полем, иначе говоря, на магнитный полюс, помещенный вблизи проводника, по которому течет ток, всегда действует некоторая сила. Заметим мимоходом, что это свойство тока позволяет нам построить чувствительный прибор для обнаружения тока. Научившись однажды распознавать характер магнитных сил из модели поля, связанного с током, мы всегда будем рисовать поле, окружающее проводник, по которому течет ток, чтобы представить действие магнитных сил в любой точке пространства. В качестве первого примера мы рассмотрим так называемый соленоид. Он представляет собой спираль из проволоки,

как это показано на рис. 52. Наша задача — изучить с помощью опыта все, что можно знать о магнитном поле, связанном с током, текущим по соленоиду, и объединить эти знания в построении поля. Рисунок представляет нам результат. Искривленные силовые линии замкнуты; они окружают соленоид, характеризуя магнитное поле тока.

Поле, образуемое магнитным стержнем, может быть представлено таким же путем, как и поле тока. Рис. 53 показывает это. Силовые линии направлены от положительного полюса к отрицательному. Вектор силы всегда лежит на касательной к силовой линии и является наибольшим вблизи полюса, потому что силовые линии расположены наиболее густо именно в этих местах. Вектор силы выражает действие магнита на положительный магнитный полюс. В этом случае магнит, а не ток, является «источником» поля.

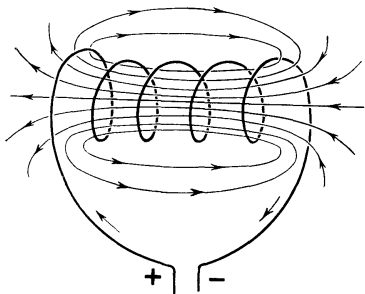


Рис. 52

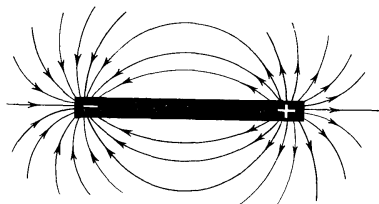


Рис. 53

Следует внимательно сравнить два последних рисунка. В первом случае мы имеем магнитное поле тока, текущего по соленоиду; во втором — поле магнитного стержня. Не будем обращать внимания на соленоид и стержень, а рассмотрим только внешние поля, ими создаваемые. Мы сразу же замечаем, что они имеют совершенно одинаковый характер; в обоих случаях силовые линии идут от одного конца — соленоида или стержня — к другому.

Представление о поле приносит свой первый плод! Весьма трудно было бы усмотреть какое-либо ярко выраженное сходство между током, текущим по соленоиду, и магнитным стержнем, если бы это не обнаруживалось в строении поля.

Понятие поля теперь может быть подвергнуто к гораздо более серьезному испытанию. Скоро мы увидим, есть ли оно нечто большее, чем новое представление действующих сил. Мы могли бы сказать: допустим на минуту,

что поле и только оно характеризует одинаковым образом все действия, определяемые его источником. Это только предположение. Оно означало бы, что если соленоид и магнит имеют одинаковое поле, то и все их действия должны быть также одинаковыми. Оно означало бы, что два соленоида, по которым течет электрический ток, ведут себя подобно двум магнитным стержням; что они притягивают или отталкивают друг друга, в зависимости от их взаимного положения, совершенно так же, как это имеет место и в случае магнитных стержней. Оно означало бы также, что соленоид и стержень притягивают и отталкивают друг друга таким же образом, как и два стержня. Короче говоря, оно означало бы, что все действия соленоида, по которому течет ток, и действия соответствующего магнитного стержня являются одинаковыми, так как существенно одно лишь поле, а поле в обоих случаях имеет одинаковый характер. Эксперимент полностью подтверждает наше предположение!

Как трудно было бы предвидеть эти факты без понятия поля! Выражение для силы, действующей между проводником, по которому течет ток, и магнитным полюсом, очень сложно. В случае двух соленоидов мы должны были бы исследовать силы, с которыми оба тока действуют друг на друга. Но если мы делаем это с помощью поля, мы сразу же определяем характер всех этих действий, как только обнаруживается сходство между полем соленоида и полем магнитного стержня.

Мы имеем право считать, что поле есть нечто гораздо большее, чем думали сначала. Свойства самого поля оказываются существенными для описания явления. Различие же источников поля несущественно. Значение понятия поля обнаруживается в том, что оно ведет к новым экспериментальным фактам.

Поле оказывается очень полезным понятием. Оно возникло как нечто, помещенное между источником и магнитной стрелкой, для того чтобы описать действующую силу. О нем думали, как об «агенте» тока, через который осуществались все действия тока. Нотеперь агент действует и как переводчик, переводящий законы на простой, ясный, легко понимаемый язык.

Первый успех описания с помощью поля показал, что оно может быть удобным для рассмотрения всех действий токов, магнитов и зарядов, т. е. рассмотрения не непосредственного, а с помощью поля как переводчика. Поле можно рассматривать как нечто, всегда связанное с током. Оно существует, даже если отсутствует магнитный полюс, с помощью которого можно обнаружить его наличие. Постараемся последовательно идти за этой новой путеводной нитью.

Поле заряженного проводника может быть введено почти таким же образом, как и поле тяготения или поле тока или магнита. Возьмем снова наипростейший пример. Чтобы нарисовать поле положительно заряженной сферы, мы должны задать вопрос: какого рода силы действуют

на маленькое положительно заряженное пробное тело, помещенное вблизи источника поля, т. е. вблизи заряженной сферы? Тот факт, что мы берем положительно, а не отрицательно заряженное пробное тело, является простым соглашением, которое определяет, в каком направлении должны быть нарисованы стрелки силовых линий. Эта модель (рис. 54) аналогична модели поля тяготения (стр. 435) в силу сходства законов

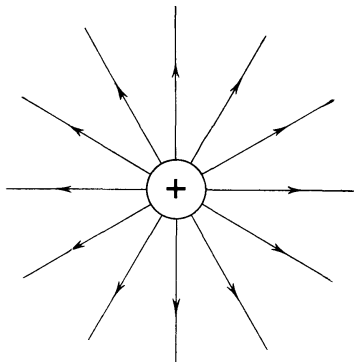


Рис. 54

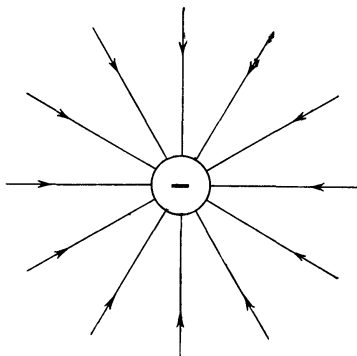


Рис. 55

Кулона и Ньютона. Единственное различие между обеими моделями состоит в том, что стрелки расположены в противоположных направлениях. В самом деле, два положительных заряда отталкиваются, а две массы притягиваются. Однако поле сферы с отрицательным зарядом (рис. 55) будет идентично полю тяготения, так как маленький положительный пробный заряд будет притягиваться источником поля.

Если и электрический заряд, и магнитный полюс находятся в покое, то между ними нет никакого взаимодействия: ни притяжения, ни отталкивания. Выражая подобный факт на языке поля, мы можем сказать: электростатическое поле не влияет на магнитостатическое, и наоборот. Слова «статическое поле» означают, что речь идет о поле, не изменяющемся со временем. Магниты и заряды могли бы вечно оставаться друг подле друга, если бы никакая внешняя сила не нарушала их состояния. Электростатические, магнитостатические и гравитационные поля различны по своему характеру. Они не смешиваются: каждое сохраняет свою индивидуальность независимо от других.

Вернемся к электрической сфере, которая до сих пор была в покое, и предположим, что она пришла в движение благодаря действию некоторой внешней силы. Заряженная сфера движется. На языке поля это выражение означает: поле электрического заряда изменяется со временем. Но движение этой заряженной сферы эквивалентно току, как мы уже знаем это из опыта Роуланда. Далее, каждый ток сопровождается магнитным полем. Таким образом, цепь наших выводов такова:

Движение заряда $\rightarrow$ Изменение электрического поля
 $\downarrow$
 Ток $\rightarrow$ Магнитное поле, связанное с током.

Поэтому мы заключаем: изменение электрического поля, произведенное движением заряда, всегда сопровождается магнитным полем.

Наше заключение основано на опыте Эрстеда, но оно содержит в себе нечто большее. Оно содержит признание того, что связь электрического поля, изменяющегося со временем, с магнитным полем весьма существенна для наших дальнейших выводов.

Поскольку заряд остается в покое, существует только электростатическое поле. Но как только заряд приходит в движение, возникает магнитное поле. Мы можем сказать больше. Магнитное поле, вызванное движением заряда, будет тем сильнее, чем больше заряд и чем быстрее он движется. Это тоже — вывод из опыта Роуланда. Используя вновь язык поля, мы можем сказать: чем быстрее изменяется электрическое поле, тем сильнее сопровождающее его магнитное поле.

Мы постараемся здесь перевести известные уже нам факты с языка жидкостной теории, развитого соответственно старым механистическим взглядам, на новый язык поля. Позднее мы увидим, как ясен, поучителен и всеобъемлющ наш новый язык.

Два столпа теории поля

«Изменение электрического поля сопровождается магнитным полем». Если поменять слова «магнитное» и «электрическое», то предложение будет выглядеть так: «изменение магнитного поля сопровождается электрическим полем». Справедливо это положение или нет, может решить только эксперимент. Но сама идея сформулировать это положение ввнушена применением языка поля.

Немного более ста лет назад Фарадей выполнил эксперимент, приведший к великому открытию индукционных токов.

Демонстрация этого явления очень проста (рис. 56). Необходим только соленоид или несколько витков проволоки, магнитный стержень, а

также какой-либо один из многообразных приборов для обнаружения электрического тока. Начнем с того, что магнитный стержень оставим в покое около соленоида, образующего замкнутую цепь. Никакого тока по проводнику не течет, потому что нет никакого источника. Существует только магнитостатическое поле магнитного стержня, не изменяющееся со временем. Теперь мы быстро изменяем положение магнита, либо удаляя его, либо приближая к соленоиду, по своему усмотрению. В этот момент в проводнике на короткое время появится ток, а затем исчезнет. Всякий раз, как изменяется положение магнита, вновь появляется ток; его можно обнаружить достаточно чувствительным прибором. Но с точки зрения теории поля ток означает наличие электрического поля, вызывающего поток электрических жидкостей в проводнике. Ток, а стало быть, и электрическое поле исчезают, когда магнит вновь приходит в состояние покоя.

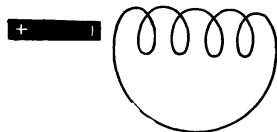


Рис. 56

Представим себе, что язык поля нам неизвестен и результаты этого опыта должны быть описаны количественно и качественно на языке старых механических понятий. Тогда наш опыт показывает следующее: благодаря движению магнитного диполя возбуждена новая сила,двигающая электрические жидкости в проводнике. Возникает вопрос: от чего зависит эта сила? Ответить было бы очень трудно. Мы должны были бы

исследовать зависимость силы от скорости магнита, от его формы и от формы витков. Больше того, будучи истолкован на старом языке, этот эксперимент вообще не дал бы нам никакого указания на то, может ли появиться индукционный ток благодаря движению другого соленоида, по которому течет ток и которым мы заменим движущийся магнитный стержень.

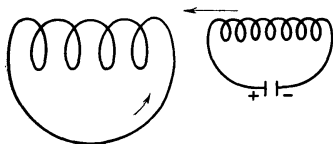


Рис. 57

Совершенно иным оказывается дело, если мы применяем язык поля и вновь полагаемся на тот принцип, что действие определяется полем. Мы сразу видим, что соленоид, по которому течет ток, будет действовать так же, как и магнитный стержень. Рис. 57 изображает два соленоида: один небольшой, по которому течет ток, а другой побольше, в котором обнаруживается индукционный ток. Мы могли бы двигать малый соленоид, как раньше двигали магнитный стержень, возбуждая в большем соленоиде индукционный ток. Больше того, вместо движения малого соленоида

мы могли бы возбуждать и нарушать магнитное поле возбуждением и разрывом тока, т. е. замыканием и размыканием цепи. Еще раз новые предсказания теории поля подтверждаются опытом!

Возьмем более простой пример. Пусть мы имеем замкнутую цепь без всякого источника тока. Пусть где-либо поблизости имеется магнитное поле. Для нас безразлично, является ли источником этого магнитного поля другой виток, по которому течет ток, или же магнитный стержень. Рис. 58 изображает замкнутый виток и магнитные силовые линии. Качественное и количественное описание индукционных явлений является очень про-

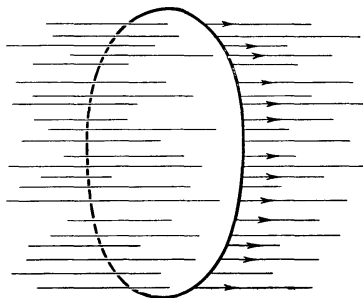


Рис. 58

стым в терминологии поля. Как видно из рисунка, некоторые силовые линии проходят через круг, ограниченный витком. Мы должны рассмотреть силовые линии, проходящие через часть плоскости, охватываемую витком. До тех пор, пока поле остается неизменным, никакого тока нет, как бы ни была велика сила поля. Но как только изменяется число силовых линий, проходящих через круг, окруженный замкнутой цепью, так в ней возникает ток. Ток определяется изменением числа силовых линий, проходящих через поверхность, независимо от того, чем вызывается

это изменение. Это изменение числа силовых линий является единственным существенным понятием как для качественного, так и для количественного описания индукционного тока. «Число линий изменяется» — это означает, что изменяется плотность линий, а это, как мы помним, означает, что изменяется напряженность поля.

Существенными моментами в цепи наших рассуждений являются: изменение магнитного поля → индукционный ток → движение зарядов → наличие электрического поля.

Отсюда следует: *изменяющееся магнитное поле сопровождается электрическим полем.*

Таким образом, мы нашли две наиболее важные основы для теории электрического и магнитного поля. Первая — это связь между изменяющимся электрическим полем и магнитным полем. Она основана на опыте Эрстеда, обнаружившим отклонение магнитной стрелки под действием поля тока, и приводит к выводу: *изменяющееся электрическое поле сопровождается магнитным полем.*

Вторая связывает изменяющееся магнитное поле с индукционным током и основана на опыте Фарадея. Обе они составляют основу количественного описания.

И снова электрическое поле, сопровождающее изменяющееся магнитное поле, выступает как нечто реальное. Мы уже раньше должны были предположить, что магнитное поле тока существует и в отсутствии пробного полюса. Подобным же образом мы должны считать, что и электрическое поле существует в отсутствии замкнутого проводника, устанавливающего наличие индукционного тока.

Фактически два столпа, на которых покоится поле, можно свести к одному-единственному, а именно: к результатам опыта Эрстеда. Из них при помощи закона сохранения энергии можно вывести и результаты опыта Фарадея. Мы говорили о двух столпах только ради ясности и экономии.

Необходимо упомянуть еще об одном следствии полевой теории. Пусть имеется виток, по которому течет ток, возникающий, например, от батареи Вольта. Внезапно связь проводника с источником тока разрывается. Теперь, конечно, никакого тока нет! Но в момент этого короткого разрыва происходит сложный процесс, который опять-таки может быть предсказан теорией поля. Перед разрывом тока вокруг проводника существовало магнитное поле. Оно перестало существовать в момент, когда ток был прерван. Следовательно, из-за разрыва тока магнитное поле исчезло. Число силовых линий, проходящих через поверхность, окруженную цепью, очень быстро изменилось. Но такое быстрое изменение, как бы оно ни осуществлялось, должно вызвать индукционный ток. Что действительно имеет значение — так это изменение магнитного поля, возбуждающее индукционный ток, тем более сильный, чем значительнее изменение поля. Этот вывод является другой проверкой теории. Разрыв тока должен сопровождаться возникновением сильного кратковременного индукционного тока. Эксперимент снова подтверждает предсказание теории. Тот, кто когда-либо разрывал ток, должен был заметить, что при этом появляется искра. Эта искра указывает на огромную разность потенциалов, вызванную быстрым изменением магнитного поля.

Тот же самый процесс можно рассмотреть с другой точки зрения, с точки зрения энергии. Магнитное поле исчезло, но появилась искра. Искра обладает некоторой энергией, поэтому и магнитное поле должно обладать энергией. Чтобы последовательно применять понятие поля и его язык, мы должны рассматривать магнитное поле как запас энергии. Только встав на этот путь, мы будем в состоянии описать магнитные и электрические явления в согласии с законом сохранения энергии.

Будучи вначале лишь вспомогательной моделью, поле становится все более и более реальным. Оно помогло нам понять уже известные факты и привело к новым. Приписывание полю энергии является дальней-

шим шагом в развитии, в котором понятие поля оказывается все более существенным, а субстанциональные концепции, свойственные механистической точке зрения, все более отходят на задний план.

Реальность поля

Количественная, математическая формулировка законов поля дана в так называемых уравнениях Максвелла. Указанные выше факты привели к формулировке этих уравнений, но содержание их значительно богаче, чем мы могли показать. Их простая форма скрывает глубину, обнаруживаемую только при тщательном изучении.

Формулировка этих уравнений является самым важным событием со времени Ньютона не только вследствие ценности их содержания, но и потому, что они дают образец нового типа законов.

Характерную особенность уравнений Максвелла, которая проявляется и во всех других уравнениях современной физики, можно выразить в одном предложении: уравнения Максвелла суть законы, выражающие структуру поля.

Почему уравнения Максвелла отличаются по своей форме и характеру от уравнений классической механики? Что означает утверждение, что эти уравнения описывают структуру поля? Как это возможно, что в результате опытов Эрстеда и Фарадея мы можем образовать новый тип закона, который оказывается столь важным для дальнейшего развития физики?

Мы уже видели из опыта Эрстеда, как силовые линии магнитного поля закручиваются вокруг изменяющегося электрического поля. А из опыта Фарадея мы видели, как силовые линии электрического поля закручиваются вокруг изменяющегося магнитного поля. Чтобы обрисовать некоторые характерные особенности теории Максвелла, сосредоточим все внимание на одном из этих опытов, скажем, на опыте Фарадея. Повторим рисунок, показывающий, как электрический ток индуцируется под влиянием изменяющегося магнитного поля. Мы уже знаем, что индукционный ток возникает при изменении числа силовых линий, проходящих сквозь поверхность, ограниченную проводником. Ток возникнет тогда, когда изменится магнитное поле или деформируется виток, или когда он будет двигаться, словом, когда изменяется число магнитных линий, проходящих через поверхность, независимо от того, чем вызвано это изменение. Если бы нужно было учитывать все эти различные возможности, обсуждать частные влияния каждой из них, то это привело бы к очень сложной теории. Но не можем ли мы упростить нашу задачу? Постараемся исключить из нашего рассмотрения все, что относится к форме витка, к его длине, к поверхности, ограниченной проводником. Представим себе, что виток, изображенный на рис. 59, становится все меньше и меньше, постепенно

стягиваясь к очень малому витку, заключающему в себе лишь некоторую точку пространства. Тогда все, касающееся величины и формы, становится несущественным. В этом предельном случае, когда замкнутая кривая стягивается к точке, величина и форма ее автоматически исчезают из нашего рассмотрения, и мы получаем законы, связывающие изменения магнитного и электрического полей в любой момент, в любой точке пространства.

Это один из принципиальных шагов, ведущий к уравнениям Максвелла. Он опять-таки является идеализированным опытом, выполненным в воображении путем повторения опыта Фарадея с витком, стягивающимся к точке.

Фактически его следовало бы назвать скорее полушагом, чем целым шагом. До сих пор наше внимание было сосредоточено на опыте Фарадея. Но так же внимательно и подобным же образом нужно рассмотреть и другую основу теории поля, опирающуюся на опыт Эрстеда. В этом опыте магнитные силовые линии, навивающиеся на проводник с током. Стягивая витки магнитных силовых линий к точке, мы выполняем вторую половину шага, а весь шаг дает связь между изменениями магнитных и электрических полей в любой точке пространства и в любой момент.

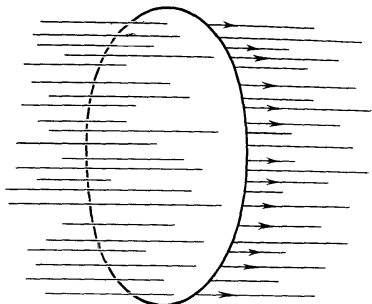


Рис. 59

Но необходим еще другой существенный шаг. Согласно опыту Фарадея, необходим проводник, с помощью которого обнаруживается наличие электрического поля, так же как в опыте Эрстеда необходим магнитный полюс или игла, обнаруживающая наличие магнитного поля. Новые теоретические идеи Максвелла идут дальше этих экспериментальных фактов. Электрическое и магнитное поля или, короче, *электромагнитное* поле является, согласно теории Максвелла, чем-то реальным. Электрическое поле создается изменяющимся магнитным полем совершенно независимо от того, имеется ли проводник для обнаружения его существования. Магнитное поле создается изменяющимся электрическим полем независимо от того, имеется ли магнитный полюс для обнаружения его существования.

Таким образом, к уравнениям Максвелла приводят два существенных шага. Первый шаг: в рассмотренных опытах Эрстеда и Роуланда силовые линии магнитного поля, навивающиеся на ток и изменяющееся электрическое поле, должны быть стянуты к точке; в рассмотренном опыте

Фарадея силовые линии электрического поля, охватывающие изменяющееся магнитное поле, тоже должны быть стянуты к точке. Второй шаг состоит в трактовке поля как чего-то реального. Созданное однажды электромагнитное поле существует, действует и изменяется согласно законам Максвелла. Уравнения Максвелла описывают структуру электромагнитного поля. Ареной этих законов является все пространство, а не одни только точки, в которых находятся вещество или заряды, как это принимается для механических законов.

Вспомним, как обстояло дело в механике. Зная положение и скорость частиц в начальный момент времени, зная действующие силы, можно предвидеть всю траекторию, которую частица опишет в будущем. В теории Максвелла, если только мы знаем поле в какой-либо момент времени, мы можем вывести из уравнений, установленных этой теорией, как будет изменяться все поле в пространстве и во времени. Уравнения Максвелла позволяют нам следовать за историей поля так же, как уравнения механики позволяли следовать за историей материальных частиц.

Но имеется еще одно существенное различие между механическими законами и законами поля Максвелла. Сравнение законов тяготения Ньютона и законов поля Максвелла подчеркнет некоторые характерные черты, выраженные этими уравнениями.

С помощью законов Ньютона мы можем вывести движение Земли, зная силу, действующую между Солнцем и Землей. Эти законы связывают движение Земли с действием удаленного Солнца. И Земля, и Солнце, хотя они и далеки друг от друга, оба принимают участие в игре сил.

В теории Максвелла нет вещественных участников действия. Математические уравнения этой теории выражают законы, управляющие электромагнитным полем. Они не связывают, как это имеет место в законах Ньютона, два далеко разделенных события, они не связывают события *здесь* с условиями *там*. Поле *здесь* и *теперь* зависит от поля в *непосредственном соседстве* в момент, *только что протекший*. Уравнения позволяют нам предвидеть, что случится немного дальше в пространстве и немного позднее во времени, если мы знаем, что происходит здесь и теперь. Они позволяют нам увеличивать наши знания поля малыми шагами. Мы можем вывести то, что происходит здесь, из того, что происходит вдали, путем суммирования этих очень малых шагов. В теории же Ньютона, наоборот, допустимы только большие шаги, связывающие отдаленные события. Опыты Эрстеда и Фарадея можно рассмотреть с точки зрения теории Максвелла, но только суммируя малые шаги, каждый из которых управляется уравнениями Максвелла.

Изучение уравнений Максвелла с математической стороны показывает, что из них можно сделать новые и действительно неожиданные заключения, а всю теорию можно испытать на гораздо более высоком уровне,

потому что теоретические следствия теперь имеют количественный характер и обосновываются всей цепью логических аргументов.

Представим себе опять идеализированный опыт. Небольшая электрически заряженная сфера под влиянием внешних сил вынуждена быстро и ритмично колебаться, подобно маятнику. Как, опираясь на знания об изменениях поля, которые уже есть у нас, будем мы описывать на языке поля все, что при этом происходит?

Колебания заряда создают изменяющееся электрическое поле. Оно всегда сопровождается изменяющимся магнитным полем. Если поблизости расположен проводник, образующий замкнутую цепь, то изменяющееся магнитное поле будет сопровождаться электрическим током в цепи. Все это является лишь повторением известных фактов, но изучение уравнений Максвелла дает гораздо более глубокое проникновение в проблему колебания электрического заряда. С помощью математического вывода из уравнений Максвелла мы можем установить характер поля, окружающего колеблющийся заряд, его структуру вблизи и вдали от источника и его изменение со временем. Результатом такого вывода является представление об *электромагнитной волне*. От колеблющегося заряда излучается энергия, которая распространяется в пространстве с определенной скоростью; но передача энергии, движение состояния характерны для всех волновых явлений.

Мы уже рассматривали различные типы волн. Когда в среде распространялись изменения плотности, мы имели продольную волну, вызванную пульсацией сферы. В желеобразной среде распространялись поперечные волны. В этом случае через среду передавалась деформация желеобразной массы, вызванная вращением сферы. Но какого же рода изменения распространяются теперь, в случае электромагнитной волны? Это — изменения электромагнитного поля! Всякое изменение электрического поля создает магнитное поле; всякое изменение этого магнитного поля создает электрическое поле; всякое изменение электрического... и так далее. Так как поле несет энергию, все эти изменения, распространяющиеся в пространстве с определенной скоростью, образуют волну. Электрические и магнитные силовые линии всегда лежат, как это выведено теоретически, в плоскости, перпендикулярной направлению распространения. Образовавшаяся волна является, следовательно, поперечной. Первоначальные черты картины поля, которую мы нарисовали на основе опытов Эрстеда и Фарадея, еще сохранены, но мы теперь устанавливаем, что поле имеет более глубокий смысл.

Электромагнитная волна распространяется в пустом пространстве. Таков новый вывод этой теории. Если колеблющийся заряд перестает двигаться, его поле становится электростатическим. Но серия волн, созданных колебанием заряда, продолжает распространяться. Волны ведут

независимое существование, и история их изменений может быть прослежена так же, как и история любого другого материального объекта.

Мы приходим к заключению, что наша картина электромагнитной волны, распространяющейся с определенной скоростью в пространстве и изменяющейся со временем, вытекает из уравнений Максвелла только потому, что они описывают структуру электромагнитного поля в любой точке пространства и для любого момента времени.

Имеется другой очень важный вопрос. С какой скоростью распространяется электромагнитная волна в пространстве? Опираясь на некоторые данные, полученные из простых опытов, ничего общего не имеющих с действительным распространением волн, теория Максвелла дает ясный ответ: *скорость электромагнитных волн равна скорости света.*

Опыты Эрстеда и Фарадея создали основу, на которой построены законы Максвелла. Все наши так далеко идущие выводы основывались на внимательном изучении этих законов, выраженных на языке поля. Теоретическое открытие электромагнитной волны, распространяющейся со скоростью света, является одним из величайших достижений в истории науки.

Эксперимент подтвердил предсказания теории. Пятьдесят лет назад Герц впервые доказал существование электромагнитных волн и экспериментально подтвердил, что их скорость равна скорости света. В наши дни миллионы людей знают, как электромагнитные волны посылаются и принимаются. Их приборы гораздо более сложны, чем те, которые употреблял Герц, и они обнаруживают наличие волн не только за несколько метров, но и за тысячи километров от их источника.

Поле и эфир

Электромагнитная волна поперечна и распространяется со скоростью света в пустом пространстве. Тот факт, что эти скорости равны, внушает мысль о тесной связи оптических и электромагнитных явлений.

Когда мы должны были выбирать между корпускулярной и волновой теориями, мы склонились к выбору волновой. Самым сильным аргументом, определившим наше решение, была дифракция света. Но мы не будем противоречить ни одному объяснению оптических фактов, если наряду с этим предположим, что *световая волна есть волна электромагнитная*. Напротив, можно сформулировать еще и другие заключения в пользу этого предположения. Если это действительно так, то должна существовать некоторая связь между оптическими и электрическими свойствами вещества, которую можно вывести из теории Максвелла. Тот факт, что такие заключения можно в действительности сделать и что они выдержали экспериментальную проверку, является существенным аргументом в пользу электромагнитной теории света.

Этот замечательный результат обязан теории поля. Две, казалось бы, не связанные ветви науки объединяются одной теорией. Одни и те же уравнения Максвелла описывают и электромагнитную индукцию, и оптическую рефракцию (преломление света). Если наша цель состоит в том, чтобы описать с помощью одной теории все, что когда-либо случилось или может случиться, то объединение оптики и электричества, несомненно, представляет собой очень большой шаг в этом направлении. С физической точки зрения единственное различие между обычной электромагнитной волной и световой волной заключается в длине волны: она очень мала для световых волн, обнаруживаемых человеческим глазом, и велика для обычных электромагнитных волн, обнаруживаемых радиоприемником.

Старый механистический взгляд пытался свести все явления природы к силам, действующим между частицами вещества. На этом механистическом взгляде базировалась первая наивная теория электрических жидкостей. Для физика начала девятнадцатого столетия не существовало поля. Для него были реальными только субстанция и ее изменения. Он старался описать действие двух электрических зарядов только с помощью понятий, относящихся непосредственно к обоим зарядам.

Сначала понятие поля было не более, как прием, облегчающий понимание явлений с механической точки зрения. Наш новый язык — это описание поля в пространстве между зарядами, а не самих зарядов; описание поля существенно для понимания действия зарядов. Признание новых понятий постепенно росло, пока субстанция не была оттеснена на задний план полем. Стало ясно, что в физике произошло нечто весьма важное. Была создана новая реальность, новое понятие, для которого не было места в механистическом описании. Постепенно и не без борьбы понятие поля завоевало прочное положение в физике и сохранилось в качестве одного из основных физических понятий. Для современного физика электромагнитное поле столь же реально, как и стул, на котором он сидит.

Но было бы неверным считать, что новое воззрение — теория поля — освободило науку от заблуждений старой теории электрических жидкостей или что новая теория разрушает достижения старой. Новая теория выявляет как достоинства, так и ограниченность старой теории и позволяет нам оценить старые понятия с более глубокой точки зрения. Это справедливо не только по отношению к теориям электрических жидкостей и поля, но и по отношению ко всем изменениям в физических теориях, как бы революционны они ни казались. В теории Максвелла, например, мы еще находим понятие электрического заряда, хотя заряд понимается только как источник электрического поля. Справедлив еще и закон Кулона; он содержится в уравнениях Максвелла, из которых его можно вывести в качестве одного из многих следствий. Мы можем применять старую

теорию всякий раз, когда исследуются факты в той области, где она справедлива.

Но с таким же успехом мы можем применять и новую теорию, так как все известные факты относятся к той области, для которой она справедлива.

Для сравнения мы могли бы сказать, что создание новой теории непохоже на разрушение старого амбара и возведение на его месте небоскреба. Оно скорее похоже на восхождение на гору, которое открывает новые и широкие виды, показывающие неожиданные связи между нашей отправной точкой и ее богатым окружением. Но точка, от которой мы отправлялись, еще существует и может быть видна, хотя она кажется меньше и составляет крохотную часть открывшегося нашему взору обширного ландшафта.

Этой вершины, с которой открываются такие широкие перспективы, мы достигли в результате отважного преодоления препятствий на нашем пути вверх.

Правда, прошло много времени, прежде чем было признано богатое содержание теории Максвелла. Сперва поле рассматривали как нечто, что впоследствии можно будет истолковать механистически с помощью эфира. Со временем стало ясно, что эту программу нельзя осуществить, что достижения теории поля стали уже слишком поразительными и важными, чтобы их можно было заменить механистическими догмами. С другой стороны, задача придумывания механической модели эфира представлялась все менее и менее интересной, а результат, в силу вынужденного и искусственного характера допущений, все более и более обескураживающим.

Единственный выход — это допустить, что пространство обладает физическим свойством передавать электромагнитные волны, и не слишком много заботиться о смысле этого утверждения. Можно еще употреблять слово эфир, но только для того, чтобы выразить упомянутое физическое свойство пространства. Слово эфир изменяло свой смысл много раз в процессе развития науки. В данный момент оно уже не употребляется для обозначения среды, построенной из частиц. Его история, никоим образом не законченная, продолжается теорией относительности.

Механические леса

Достигнув этой стадии истории, мы должны вернуться к началу — к закону инерции Галилея. Мы процитируем его еще раз:

«Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если только оно не вынуждено изменить его под влиянием действующих сил».

Раз идея инерции понята, кажется удивительным, что же еще можно сказать о ней. Однако, хотя эта проблема подробно обсуждалась, она еще вовсе не исчерпана.

Представим себе серьезного ученого, полагающего, что закон инерции можно подтвердить или опровергнуть прямыми экспериментами. Он толкает небольшие шарики на поверхности горизонтального стола, стараясь по возможности исключить трение. Он замечает, что движение становится все более равномерным по мере того, как стол и шарики становятся все более гладкими. И вот в момент, когда он готов провозгласить принцип инерции, кто-то вдруг разыгрывает над ним шутку. Наш физик работает в комнате без окон и не имеет никакой связи с внешним миром. Шутник строит какой-то механизм, позволяющий ему быстро вращать всю комнату вокруг оси, проходящей через ее центр. Коль скоро вращение началось, наш физик наблюдает новые и неожиданные факты. Шар, только что двигавшийся равномерно, стремится теперь удалиться от центра и возможно ближе подкатиться к стенам комнаты. Он сам ощущает странную силу, толкающую его к стене. Он испытывает такое же чувство, как человек, находящийся в поезде или автомобиле, который идет по сильно закругленному пути или даже больше, как человек на вращающейся карусели. Все его предыдущие результаты разбиваются вдребезги.

Наш физик должен был бы вместе с законом инерции отбросить и все механические законы. Закон инерции был его исходной точкой; если он меняется, то меняются и все его последующие выводы. Наблюдатель, решивший всю свою жизнь провести во вращающейся комнате и выполнить там все свои опыты, имел бы законы механики, отличные от наших. С другой стороны, если бы он вошел в комнату, уже обладая глубокими знаниями и твердой уверенностью в принципах физики, то он объяснил бы кажущееся нарушение законов механики, предположив, что комната вращается. Механическими опытами он мог бы установить, как именно она вращается.

Почему мы проявляем так много интереса к наблюдателю во вращающейся комнате? Просто потому, что мы на Земле находимся в известной степени в таком же полсжении. Со времени Коперника нам известно, что Земля вращается вокруг своей оси и обращается вокруг Солнца. Даже эта простая идея, столь ясная для каждого, не осталась незатронутой прогрессом науки. Но оставим на время этот вопрос и примем точку зрения Коперника. Если бы наш вращающийся наблюдатель не мог подтвердить законы механики, то и мы на Земле не были бы в состоянии этого сделать. Но вращение Земли происходит сравнительно медленно, так что этот эффект не очень заметен. Тем не менее существует много опытов, показывающих небольшое отклонение от механических законов, и их взаимную согласованность можно считать доказательством вращения Земли.

К сожалению, мы не можем поместиться где-то между Солнцем и Землей, чтобы доказать там строгую справедливость закона инерции и взглянуть на вращающуюся Землю. Это можно сделать лишь в воображении. Все наши опыты должны быть проделаны на Земле, на которой мы вынуждены жить. Этот факт часто выражается на научном языке так: *нашей координатной системой является Земля.*

Чтобы яснее показать смысл этих слов, возьмем простой пример. Мы можем заранее сказать, где будет находиться брошенный с башни камень в любой момент времени, и можем проверить это предсказание наблюдением. Если рядом с башней помещен масштаб, мы можем предсказать, с какой отметкой на этом масштабе будет совпадать падающее тело в любой заданный момент времени. Разумеется, башня и масштаб не должны быть сделаны из резины или какого-либо другого материала, который подвергался бы изменению в процессе опыта. В самом деле, неизменность масштаба, жестко связанного с Землей, и хорошие часы — это все, что нам в принципе нужно для опыта. Если мы их имеем, то можем не обращать внимания не только на архитектуру башни, но даже и на присутствие самой башни. Все предыдущие предположения тривиальны и обычно в описаниях таких экспериментов не отмечаются. Но этот анализ показывает, как много скрытых допущений имеется в любом из наших заявлений. В данном случае мы допустили существование твердого масштаба и идеальных часов, без которых невозможно было бы проконтролировать закон Галилея о падении тел. С помощью этих простых, но основных физических приборов — масштаба и часов — мы можем подтвердить указанный механический закон с определенной степенью точности. Если эксперимент выполнен тщательно, он обнаруживает несоответствие с теорией, обязанное вращению Земли или, иными словами, тому факту, что законы механики, как они здесь сформулированы, не строго справедливы в системе координат, жестко связанной с Землей.

Во всех механических экспериментах, независимо от их типа, мы должны определять положения материальных точек в некоторый определенный момент времени, так же как и в указанном выше опыте с падающим телом. Но положение всегда должно определяться по отношению к чему-то, подобно тому как в предыдущем случае оно определялось по отношению к башне и масштабу. Чтобы определить положения тел, мы должны иметь то, что мы называем некоторым телом отсчета, или *системой отсчета*. Так, при определении положений предметов и людей в городе, такую систему отсчета представляют улицы и проспекты. До сих пор мы не беспокоились о том, что надо определить систему отсчета, когда приводили законы механики, потому что мы живем на Земле и перед нами в любом частном случае не возникают трудности, когда мы выбираем систему отсчета, жестко связанную с Землей. Эта система отсчета, к которой мы относим все наши

наблюдения, построенная из твердых неизменяемых тел,— своеобразные механические леса,— называется *системой координат*.

До сих пор все наши физические утверждения имели некоторый недостаток. Мы не обращали внимания на тот факт, что все наблюдения должны производиться в определенной системе координат. Вместо описания структуры этой системы координат мы игнорировали ее существование. Например, когда мы писали: «тело движется равномерно...», мы должны были бы писать: «тело движется равномерно по отношению к выбранной системе координат...». Опыт с вращающейся комнатой научил нас, что результаты эксперимента могут зависеть от выбранной системы координат.

Если две системы координат вращаются относительно друг друга, то законы механики не могут быть справедливыми в обеих системах. Если поверхность воды в бассейне, образующем одну из этих систем координат, горизонтальна, то в другой, вращающейся системе поверхность воды такого же бассейна примет искривленную форму, подобную той, которую имеет поверхность кофе в стакане, когда его помешивают ложечкой.

Когда мы формулировали принципиальные законы механики, мы опустили один важный момент. Мы не установили, в какой системе координат они справедливы. Из-за этого вся классическая механика висит в воздухе, так как мы не знаем, к какой системе отсчета она отнесена. Однако отбросим на минуту эту трудность. Мы сделаем несколько неточное предположение, что законы классической механики справедливы в каждой системе координат, жестко связанной с Землей. Это делается для того, чтобы фиксировать систему координат и придать точный смысл нашим утверждениям. Хотя наше утверждение о том, что Земля является подходящей системой отсчета, и не вполне верно, мы все же пока примем его.

Мы предполагаем, следовательно, что существует одна система координат, для которой справедливы законы механики. Является ли она единственной? Предположим, что мы имеем такие системы координат, как поезд, пароход или аэроплан, движущиеся относительно Земли. Будут ли законы механики справедливыми и для этих новых систем координат? Мы определенно знаем, что они не всегда справедливы, например в случае поезда, идущего на повороте, или парохода, который попал в шторм, или самолета, вошедшего в штопор. Начнем с простого примера. Пусть некоторая система координат движется прямолинейно и равномерно относительно нашей «хорошей» системы координат, т. е. относительно системы, в которой законы механики справедливы. Например, пусть это будет идеальный поезд или пароход, плывущий с изумительной плавностью и с неизменной скоростью вдоль прямой. Мы знаем из повседневного опыта, что обе системы будут «хорошими», т. е. физические опыты, произведенные в прямолинейно и равномерно движущемся поезде или пароходе, дадут те же результаты, что и на Земле. Но если поезд останавливается или

резко ускоряется, или если море бурно, то происходят странные вещи. В поезде чемоданы выпадают из багажных сеток, на пароходе столы и стулья опрокидываются, а пассажиры страдают морской болезнью. С физической точки зрения — это просто означает, что законы механики не могут быть применимы в этих системах координат, что они являются «плохими» системами.

Этот результат может быть выражен с помощью так называемого *принципа относительности Галилея*.

Если законы механики справедливы в одной системе координат, то они справедливы и в любой другой системе, движущейся прямолинейно и равномерно относительно первой.

Если две системы координат движутся друг относительно друга неравномерно, то законы механики не могут быть справедливыми в обеих системах одновременно. «Хорошие» системы координат, т. е. те, в которых законы механики справедливы, мы называем *инерциальными системами*. Вопрос о том, существует ли вообще инерциальная система, еще не решен. Но если есть одна такая система, то их имеется бесконечное множество. Каждая система, движущаяся прямолинейно и равномерно относительно первоначальной, является тоже инерциальной системой.

Рассмотрим случай двух систем, отходящих из некоторого пункта и движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга с известной скоростью. Тот, кто предпочитает конкретные представления, может думать о корабле или поезде, движущемся относительно Земли. Законы механики могут быть подтверждены экспериментально с одинаковой степенью точности как на Земле, так и на поезде или корабле, движущемся прямолинейно и равномерно. Некоторое затруднение возникает лишь тогда, когда наблюдатели в обеих системах начинают обсуждать результаты наблюдения одного и того же события с точки зрения своей собственной системы координат. Каждому хочется перевести наблюдения другого на свой собственный язык. Опять простой пример: одно и то же движение частицы наблюдается из двух систем координат — с Земли и из поезда, движущегося прямолинейно и равномерно. Обе системы инерциальны. Достаточно ли знать, что наблюдается в одной системе, для того, чтобы найти, что наблюдается в другой, если известны относительные скорости и положения обеих систем в некоторый момент времени? Как перейти от одной системы координат к другой? Это весьма существенно знать, так как обе системы эквивалентны и обе одинаково пригодны для описания событий в природе. В действительности совершенно достаточно знать результаты, полученные наблюдателем в одной системе, чтобы предсказать, какие результаты получит наблюдатель в другой.

Рассмотрим проблему более абстрактно, без парохода или поезда. Ради простоты будем исследовать только движение по прямым линиям.

У нас имеются твердый стержень со шкалой и хорошие часы. Твердый стержень для простого случая прямолинейного движения представляет собой систему координат, совершенно так же, как ее представлял масштаб у башни в опыте Галилея. Всегда проще и лучше не обращать внимания на башни, стены, улицы и т. п., а мыслить систему координат в виде твердого стержня в случае прямолинейного движения или жесткой конструкции из трех взаимно перпендикулярных стержней—в случае произвольного движения в пространстве. Допустим, что мы имеем в простейшем случае две системы координат, т. е. два твердых стержня; положим один стержень

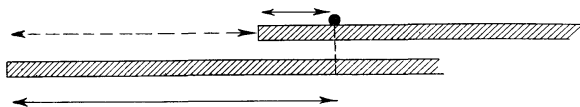


Рис. 60

на другой и назовем их соответственно «верхней» и «нижней» системой координат. Предположим, что обе системы координат движутся с определенной скоростью друг относительно друга, так что один стержень скользит вдоль другого. При этом лучше предположить, что оба стержня бесконечны по длине и имеют начальные точки, но не имеют конечных. Для обеих систем достаточно иметь одни часы, так как течение времени в них одинаково. В начальный момент наблюдения начальные точки обоих стержней совпадают. Положение материальной точки в этот момент характеризуется в обеих системах одним и тем же числом. Положение материальной точки совпадает с некоторой точкой на шкале стержня; таким образом мы получаем число, определяющее положение этой материальной точки. Но если стержни движутся равномерно относительно друг друга, то числа, определяющие положение точки на обоих стержнях, будут через некоторое время, скажем, через секунду, различны. Рассмотрим материальную точку, покоящуюся на верхнем стержне (рис. 60). Число, определяющее ее положение в верхней системе координат, не изменится со временем. Но соответствующее число на нижнем стержне будет изменяться. Вместо слов: «число, определяющее положение точки» мы будем кратко говорить: «*координата точки*». Хотя следующее предложение звучит запутанно, тем не менее из рисунка мы видим, что оно правильно и выражает нечто очень простое. Координата точки в нижней системе координат равна ее координате в верхней системе координат плюс координата начала верхней системы относительно нижней. Весьма важно, что мы всегда можем подсчитать положение частицы в одной системе координат, если знаем ее

положение в другой системе. Для этого мы должны знать относительное положение рассматриваемых координатных систем в любой момент времени. Хотя все это звучит по-ученому, на самом деле все это очень просто и едва ли заслуживает такого детального обсуждения, но это нам будет полезно впоследствии.

Необходимо отметить различие между определением положения точки и определением времени события. Каждый наблюдатель имеет свой стержень, который определяет его координатную систему, но часы у всех одни и те же. Время есть нечто «абсолютное» и течет одинаково для всех наблюдателей во всех системах.

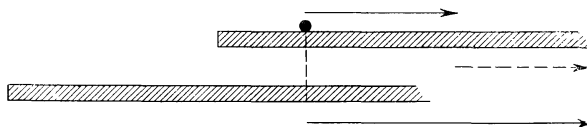


Рис. 61

Теперь другой пример. Человек прогуливается по палубе большого корабля со скоростью трех километров в час. Это его скорость относительно корабля или, другими словами, скорость относительно системы координат, жестко связанной с кораблем. Если скорость корабля относительно берега тридцать километров в час и если прямолинейные и равномерные движения корабля и человека имеют одно и то же направление, то скорость прогуливающегося человека по отношению к наблюдателю на берегу будет равна тридцати трем километрам в час, а по отношению к кораблю — трем километрам в час. Мы можем формулировать этот факт в более общем виде: скорость движущейся материальной точки относительно нижней системы координат равна скорости относительно верхней системы плюс или минус скорость верхней системы относительно нижней в зависимости от того, имеют ли скорости одинаковые направления или противоположные (рис. 61). Мы всегда, следовательно, можем перевести от одной системы координат к другой не только координаты, но и скорости, если нам известны относительные скорости обеих систем. Положения, или координаты, и скорости являются примерами величин, которые различаются в различных системах координат и которые связаны друг с другом определенными, в данном случае простыми, законами преобразования.

Но существуют величины, которые одинаковы в обеих системах и которые не нуждаются ни в каких законах преобразований. Возьмем не одну, а две определенные точки на верхнем стержне и рассмотрим расстоя-

ние между ними. Это расстояние является разностью координат обеих точек. Чтобы найти положения двух точек относительно различных систем координат, мы должны использовать законы преобразований. Но при образовании разности двух координат вклады, связанные с переходом в новую систему компенсируются, как это ясно из рис. 62. Мы должны прибавить, а затем вычесть расстояние между началами обеих систем. Поэтому расстояние между двумя точками *инвариантно*, т. е. не зависит от выбора систем координат.

Следующим примером величины, не зависящей от системы координат, является изменение скорости — понятие, хорошо известное нам из механики. Пусть опять материальная точка, движущаяся вдоль прямой,

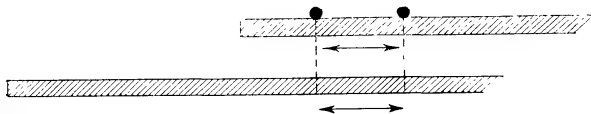


Рис. 62

наблюдается в двух системах координат. Изменение ее скорости для наблюдателя в каждой системе представляет собой разность между двумя скоростями и вклад, связанный с равномерным относительным движением обеих систем координат, уничтожается, когда подсчитывается разность. Следовательно, изменение скорости инвариантно, хотя, разумеется, лишь при условии, что относительное движение обеих систем координат равномерно. В противном случае изменение скорости было бы различным для каждой из обеих систем координат; это различие обусловливается изменением скорости относительного движения обеих стержней, представляющих наши координатные системы.

Наконец, последний пример! Пусть мы имеем две материальные точки, между которыми действует сила, зависящая только от расстояния. В случае прямолинейного движения расстояние, а следовательно, так же и сила, инвариантны. Поэтому закон Ньютона, связывающий силу с изменением скорости, будет справедлив в обеих системах координат. Еще раз мы получаем вывод, который подтверждается повседневным опытом: если законы механики справедливы в одной системе координат, то они справедливы и во всех системах, движущихся равномерно и прямолинейно относительно первой. Конечно, наш пример был очень простым, рассматривалось прямолинейное движение, для которого система координат могла быть представлена твердым стержнем. Но наши выводы справедливы вообще и они могут быть подытожены следующим образом.

1. Мы не знаем никакого правила для отыскания инерциальной системы. Однако, если задана одна инерциальная система, то мы можем найти бесконечное число их, так как все системы координат, движущиеся прямолинейно и равномерно относительно друг друга, являются инерциальными, если инерциальна одна из них.

2. Время, соответствующее событию, одинаково во всех системах координат. Но координаты и скорости различны и изменяются согласно закону преобразования.

3. Хотя координаты и скорости изменяются при переходе от одной системы координат к другой, сила и изменение скорости, а стало быть, и законы механики инвариантны относительно законов преобразования.

Законы преобразования, сформулированные нами выше для координат и скоростей, мы будем называть *законами преобразования классической механики*, или, короче, *классическими преобразованиями*.

Эфир и движение

Принцип относительности Галилея справедлив для механических явлений. Во всех инерциальных системах, движущихся относительно друг друга, применимы одни и те же законы механики. Справедлив ли этот принцип и для немеханических явлений, особенно тех, для которых понятия поля оказались столь важными? Все проблемы, которые сконцентрированы вокруг этого вопроса, сразу же приводят нас к исходной точке теории относительности.

Мы помним, что скорость света *в вакууме* или, другими словами, в эфире равна 300 000 километров в секунду и что свет — это электромагнитные волны, распространяющиеся в эфире. Электромагнитное поле несет энергию, которая, будучи излучена однажды из своего источника, ведет независимое существование. Пока мы будем по-прежнему считать, что эфир есть среда, в которой распространяются электромагнитные, а стало быть, и световые волны, хотя мы и знаем хорошо, как много трудностей связано с его механической структурой.

Представим себе, что мы сидим в закрытой комнате, настолько изолированной от внешнего мира, что воздух не может ни войти, ни удалиться из нее. Если мы тихо сидим и разговариваем, то мы, с физической точки зрения, создаем звуковые волны, которые распространяются в воздухе от их покоящегося источника со скоростью звука. Если бы между ртом и ухом не было воздуха или другой вещественной среды, то мы не могли бы обнаружить звук. Опыт показал, что скорость звука в воздухе одинакова во всех направлениях, если нет ветра, и воздух находится в покое относительно выбранной системы координат.

Вообразим теперь, что наша комната движется прямолинейно и равномерно в пространстве. Человек снаружи видит сквозь стеклянные стены движущейся комнаты (или поезда, если вы предпочитаете) все, что происходит внутри. Из измерений внутреннего наблюдателя он может найти скорость звука относительно его системы координат, связанной со средой, по отношению к которой движется комната. Здесь опять возникает старая, много раз обсуждавшаяся проблема определения скорости в одной системе координат, если она уже известна в другой системе.

Наблюдатель в комнате заявляет: скорость звука для меня одинакова во всех направлениях.

Внешний наблюдатель заявляет: скорость звука, распространяющегося в движущейся комнате, определенная в моей системе координат, не одинакова во всех направлениях. Она больше установленной скорости звука в направлении движения комнаты и меньше в противоположном.

Эти заключения вытекают из классического преобразования и могут быть доказаны экспериментально. Комната увлекает находящуюся в ней материальную среду, воздух, в котором распространяются звуковые волны, и поэтому скорости звука будут различны для внешнего и внутреннего наблюдателей.

Рассматривая звук как волну, распространяющуюся в материальной среде, можно сделать некоторые дальнейшие выводы. Если мы не желаем слышать говорящего, мы можем поступить следующим, хотя и не наипростейшим путем, а именно: бежать со скоростью, большей, чем скорость звука относительно воздуха, который окружает оратора. Тогда произведенные звуковые волны никогда не будут в состоянии достичь наших ушей. С другой стороны, если мы пропустили важное слово, которое никогда не будет повторено, мы должны бежать со скоростью большей, чем скорость звука, чтобы настичь ушедшую волну и поймать давно произнесенное слово. Ни в одном из этих примеров нет ничего иррационального, за исключением того, что в обоих случаях мы должны будем бежать со скоростью около четырехсот метров в секунду, но мы вполне можем представить себе, что дальнейшее развитие техники сделает такие скорости возможными. Пуля, выпущенная из ружья, действительно движется со скоростью, большей, чем скорость звука, и человек, помещенный внутри такой пули, никогда не услышал бы звук выстрела.

Все эти примеры — чисто механического характера, и мы можем теперь сформулировать важнейшие вопросы: можно ли все только что сказанное о звуковой волне повторить применительно к световой волне? Можно ли принцип относительности Галилея и классические преобразования применить, наряду с механическими, также и к оптическим и электрическим явлениям? Было бы рискованно ответить на эти вопросы простым «да» или «нет», не вникая в их смысл более глубоко.

В случае звуковой волны в комнате, движущейся относительно внешнего наблюдателя прямолинейно и равномерно, очень существенны для наших выводов следующие обстоятельства.

Движущаяся комната увлекает воздух, в котором распространяются звуковые волны.

Скорости, наблюдаемые в обеих системах координат, движущихся друг относительно друга прямолинейно и равномерно, связаны классическим преобразованием.

Соответствующая проблема для света должна формулироваться несколько иначе. Наблюдатели в комнате больше не разговаривают, а посылают во всех направлениях световые сигналы или световые волны. Предположим далее, что источники, излучающие световые сигналы, неизменно пребывают в комнате. Световые волны распространяются в эфире подобно тому, как звуковые распространяются в воздухе.

Увлекается ли эфир комнатой, как увлекался ранее воздух? Так как механической модели эфира у нас нет, ответить на этот вопрос чрезвычайно трудно. Если комната закрыта, то воздух внутри нее вынужден двигаться вместе с ней. Очевидно, нет никакого смысла те же рассуждения относить к эфиру, так как в него погружена вся материя и он проникает повсюду. Для эфира нет закрытых дверей. «Движущаяся комната» теперь означает лишь движущуюся систему координат, с которой жестко связан источник света. Однако мы вполне можем представить себе, что движение комнаты вместе с источником света увлекает с собой эфир подобно тому, как увлекались в закрытой комнате источник звука и воздух.

Но точно так же мы можем представить себе и обратное: комната продвигается сквозь эфир, как корабль продвигается по абсолютно гладкому морю, не увлекая какие-либо части среды, а продвигаясь сквозь нее. В первой нашей картине комната, двигаясь вместе с источником света, увлекает эфир. В таком случае возможна аналогия со звуковой волной, и можно сделать совершенно такие же выводы. Во второй картине комната, двигаясь вместе с источником света, не увлекает эфира. В этом случае аналогия со звуковой волной невозможна, и выводы, сделанные для звуковой волны, для световой волны не годятся. Это — две крайние возможности.

Мы могли бы еще представить себе более сложную возможность, когда эфир лишь частично увлекается движением комнаты и источника света. Но нет никаких оснований обсуждать более сложные предположения, прежде чем не выяснено, какой из двух более простых крайних случаев подтверждает опыт.

Мы начнем с первой картины и соответственно этому временно предположим, что эфир увлекается движением комнаты и жестко связанного с ней источника света. Если мы уверены в правильности закона пре-

образования для скоростей звуковых волн, то теперь мы можем применить наши выводы также и к световым волнам. Нет никаких оснований сомневаться в простом механическом законе преобразования, который устанавливает лишь, что скорости в известных случаях должны складываться, а в других вычитаться. Поэтому сейчас мы допустим и увлечение эфира движением комнаты и источника света, и классическое преобразование.

Если я включаю свет, источник которого жестко связан с моей комнатой, то скорость светового сигнала, как это экспериментально доказано, равна 300 000 километров в секунду. Но внешний наблюдатель заметит движение комнаты, а следовательно, и движение источника света, и так как эфир увлекается, он должен будет сделать вывод: скорость света во внешней системе координат различна в различных направлениях. Она больше, чем установленная скорость света, в направлении движения комнаты и меньше в противоположном направлении. Наш вывод таков: если эфир увлекается движением комнаты и источника света и если законы механики справедливы, то скорость света должна зависеть от скорости источника света. Свет, попадающий нам в глаза от движущегося источника, имел бы большую скорость, если бы источник приближался к нам, и меньшую, если бы он удалялся от нас.

Если бы мы обладали скоростью, большей, чем скорость света, то мы могли бы убежать от светового сигнала. Настигая световые волны, посланные прежде, мы могли бы видеть события прошлого. Мы поймали бы их в порядке, обратном тому, в котором они были посланы, и цепь событий на Земле казалась бы нам подобной фильму, который смотрят в обратном порядке, начиная со счастливого конца. Все эти выводы следуют из предположения, что движение координатной системы увлекает эфир и что справедливы механические законы преобразования. Если это так, то между светом и звуком имеется полная аналогия.

Но нет никаких оснований утверждать, что эти выводы верны. Наоборот, они противоречат всем наблюдениям, сделанным с целью их проверки. В истинности такого приговора нет ни малейшего сомнения, хотя он получается с помощью косвенных экспериментов вследствие больших технических трудностей, вызванных огромной скоростью света. *Скорость света всегда одинакова во всех системах координат, независимо от того, движется ли излучающий источник или нет, и независимо от того, как он движется.*

Мы не будем подробно обсуждать многие эксперименты, из которых может быть сделан этот важный вывод. Однако мы можем привести очень простые аргументы, которые если и не доказывают, что скорость света независима от движения источника, то тем не менее делают этот факт убедительным и понятным.

В нашей планетной системе Земля и другие планеты движутся вокруг Солнца. Мы не знаем о существовании других планетных систем, подобных нашей. Однако существует очень много систем — так называемых двойных звезд, — состоящих из двух звезд, движущихся вокруг точки, называемой их центром тяжести. Наблюдение движения этих двойных звезд обнаруживает, что и для них справедлив закон тяготения Ньютона. Предположим теперь, что скорость света зависит от скорости излучающего тела. Тогда луч света, вышедший от звезды, будет распространяться быстрее или медленнее, соответственно тому, какова была скорость звезды в момент излучения света. В этом случае все движение казалось бы нам чрезвычайно запутанным, и было бы невозможно при отдаленности двойных звезд подтвердить справедливость того же самого закона тяготения, который управляет движениями нашей планетной системы.

Рассмотрим другой опыт, основанный на очень простой идее. Представим себе очень быстро вращающееся колесо. По нашему предположению, эфир увлекается движением и принимает в нем участие. Световая волна, проходя вблизи колеса, имела бы различные скорости, смотря по тому, находится ли колесо в покое или в движении. Скорость света в покоящемся эфире отличалась бы от скорости света в эфире, увлеченном движением колеса, так же как скорость звуковой волны изменяется в спокойные и ветреные дни. Но такое различие не наблюдается! Независимо от того, какой решающий эксперимент мы придумываем, вывод всегда противоречит предположению, что эфир увлекается движением. Таким образом, результат наших исследований, поддержанный более детальными техническими аргументами, таков:

Скорость света не зависит от движения излучающего источника.

Нельзя считать, что движущееся тело увлекает окружающий эфир. Поэтому мы должны отбросить аналогию между звуковыми и световыми волнами и вернуться ко второй возможности, а именно: предположить, что материя движется сквозь эфир, который никакого участия в ее движении не принимает. Это означает, что мы предполагаем наличие эфирного моря, относительно которого все системы координат либо покоятся, либо движутся. Оставим пока вопрос о том, доказал или ниспроверг эксперимент эту теорию. Лучше познакомиться поближе со значением этого нового предположения и с выводами, которые можно из него сделать.

Если мы примем это предположение, то должны признать, что существует система координат, покоящаяся относительно эфирного моря. В механике нельзя было выделить ни одну из многих систем координат, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга. Все такие системы координат были в равной степени «хороши» или «плохи». Если мы имеем две системы координат, движущиеся прямолинейно и рав-

номерно друг относительно друга, то в механике бессмысленно спрашивать, какая из них движется, а какая покоится. Наблюдать можно только относительное прямолинейное и равномерное движение. Благодаря принципу относительности Галилея мы не можем говорить об абсолютном прямолинейном и равномерном движении. Что имеется в виду, когда утверждается, что существует абсолютное, а не только относительное прямолинейное и равномерное движение? Просто то, что существует одна система координат, в которой некоторые законы природы отличаются от законов во всех других системах. Стало быть, это означает, что каждый наблюдатель может обнаружить, находится ли его система в покое или в движении путем сравнения законов, справедливых для его системы с законами, справедливыми в одной-единственной системе, которая обладает абсолютной монополией и служит в качестве образца. Здесь положение дел отличается от утверждения классической механики, в которой абсолютное прямолинейное и равномерное движение совершенно бессмысленно вследствие принципа относительности Галилея.

Какие выводы можно было бы сделать в отношении явлений поля, если предположить движение сквозь эфир? Это означало бы, что существует одна система координат, отличная от всех других, покоящаяся относительно эфирного моря. Совершенно ясно, что некоторые законы природы должны отличаться в этой системе координат, иначе фраза «движение сквозь эфир» была бы бессмысленной. Если принцип относительности Галилея справедлив, то движение сквозь эфир вообще не имеет смысла. Примирить эти две идеи невозможно. Однако если существует одна особая система координат, связанная с эфиром, то имеет определенный смысл говорить об «абсолютном движении» или «абсолютном покое».

Фактически мы не имеем выбора. Мы пытались спасти принцип относительности Галилея, предполагая, что системы увлекают эфир в своем движении, но это привело к противоречию с опытом. Остается единственный выход — отказаться от принципа относительности Галилея и испытать предположение о том, что все тела движутся сквозь спокойное эфирное море.

Следующий шаг состоит в рассмотрении некоторых выводов, противоречащих принципу относительности Галилея и говорящих в пользу движения сквозь эфир; затем эти выводы надо подвергнуть экспериментальной проверке. Такие эксперименты довольно легко вообразить, но очень трудно осуществить. Но так как мы интересуемся здесь только идеями, нам не придется заботиться о технических трудностях.

Вернемся опять к движущейся комнате с двумя наблюдателями: внутри и вне ее. Внешний наблюдатель будет представлять себе основную систему координат, связанную с эфирным морем. Это — особая система координат, в которой скорость света всегда одинакова по величине. Ско-

рость распространения света, испускаемого любыми источниками, всегда одинакова, независимо от того, движутся ли они или находятся в покое. Комната и наблюдатель движутся сквозь эфир. Представим себе, что свет в центре комнаты то вспыхивает, то гаснет, и, кроме того, вообразим, что стены комнаты прозрачны, так что скорость света могут измерить оба наблюдателя, и внешний, и внутренний. Если мы спросим обоих наблюдателей, какие результаты они ожидают получить, то их ответы были бы примерно такими.

Внешний наблюдатель. Моя система координат связана с эфирным морем. Скорость света в моей системе постоянна. Мне не нужно обращать внимание на то, движутся ли источники света или другие тела или нет, потому что они никогда не увлекают с собой эфирного моря. Моя система координат отличается от всех других, и скорость света в этой системе должна быть постоянной, независимо от направления светового луча или движения его источника.

Внутренний наблюдатель. Моя комната движется сквозь эфирное море. Передняя стена комнаты удаляется от света, а задняя приближается к нему. Если бы комната двигалась по отношению к эфирному морю со скоростью света, то излученный из центра комнаты свет никогда не достиг бы стенки, убегающей от него. Если бы комната двигалась со скоростью, меньшей, чем скорость света, то волна, посланная из центра комнаты, достигла бы одной из стен раньше, чем другой. Стены, движущейся навстречу световой волне, последняя достигла бы раньше, чем стены, удаляющейся от нее. Поэтому, хотя источник света и жестко связан с моей системой координат, скорость света не будет одинаковой во всех направлениях. Скорость будет меньше в направлении движения относительно эфирного моря, так как стена убегает, и больше — в противоположном направлении, так как стена движется навстречу световой волне, как бы стремясь скорее ее встретить.

Таким образом, только в одной системе координат, связанной с эфирным морем, скорость света была бы одинаковой во всех направлениях. В другой системе, движущейся относительно эфирного моря, она зависела бы от направления, в котором производится измерение.

Только что рассмотренный решающий эксперимент позволяет нам проверить теорию, допускающую движение сквозь эфирное море. Природа, действительно, предоставила в наше распоряжение систему, движущуюся с достаточно большой скоростью, — Землю, в ее годовом движении вокруг Солнца.

Если наше предположение правильно, то скорость света в направлении движения Земли отличалась бы от скорости света в противоположном направлении. Можно подсчитать получающиеся разности скоростей и придумать соответствующую экспериментальную проверку. Так как

из теории следует, что здесь имеют место лишь небольшие разности времен, то необходимо придумать очень остроумную установку. Это было сделано в знаменитом опыте Майкельсона — Морли. Результатом его был смертный приговор теории покоящегося эфирного моря, сквозь который движется вся материя. Никакой зависимости скорости света от направления обнаружено не было. Но если исходить из теории эфирного моря, то не только скорость света, но и другие явления поля показали бы зависимость от направления в движущейся системе координат. Все опыты дали такой же отрицательный результат, как и опыт Майкельсона — Морли; никакой зависимости от направления движения Земли не было обнаружено.

Положение становилось все более серьезным. Были проверены два предположения. Первое, — что движущиеся тела увлекают эфир. Тот факт, что скорость света не зависит от движения источника, противоречит этому предположению. Второе, — что существует одна, особая система координат и что движущиеся тела не увлекают эфир, а проходят сквозь постоянно покоящееся эфирное море. Если это так, то принцип относительности Галилея несправедлив, и скорость света не может быть одинаковой в любой системе координат. И снова мы находимся в противоречии с опытом.

Были придуманы и более искусственные теории, предполагающие, что действительная правда лежит где-то между двумя предельными случаями, а именно, теории, исходящие из того, что эфир увлекается движущимися телами только частично. Но все они оказались несостоятельными! Всякая попытка объяснить электромагнитные явления в движущихся системах координат с помощью движения эфира, движения сквозь эфир или с помощью обоих этих движений, оказывалась неудачной.

Таким образом, возникло одно из самых драматических положений в истории науки. Все предположение относительно поведения эфира ни к чему не приводили! Приговор эксперимента всегда был отрицательным. Отглядываясь на развитие физики, мы видим, что вскоре после своего рождения эфир стал «выродком» в семье физических субстанций. Во-первых, построение простой механической модели эфира оказалось невозможным и было отброшено. Этим в значительной степени был вызван крах механистической точки зрения. Во-вторых, мы должны были потерять надежду на то, что благодаря существованию эфирного моря будет выделена одна система координат, что позволило бы нам опознать не только относительное, но и абсолютное движение. Это было бы единственным путем, если не считать, что он переносит волны, которым эфир проявляет себя и оправдывает свое существование. Все наши попытки сделать эфир реальным провалились. Он не обнаружил ни своего механического строения, ни абсолютного движения. От всех свойств эфира не осталось ничего, кроме того свойства, из-за

которого его и придумали, а именно, кроме способности передавать электромагнитные волны. Все попытки открыть свойства эфира привели к трудностям и противоречиям. После стольких неудач наступает момент, когда следует совершенно забыть об эфире и постараться никогда больше не упоминать о нем. Мы будем говорить: наше пространство обладает физическим свойством передавать волны; тем самым мы совсем избежим употребления слова, от которого решили отказаться.

Однако выбрасывание слова из нашего словаря не является, конечно, исцеляющим средством. Наши трудности в самом деле слишком серьезны, чтобы их можно было разрешить таким путем!

Соберем теперь вместе те факты, которые достаточно проверены опытом, не заботясь больше о проблеме эфира.

1. Скорость света в пустом пространстве всегда постоянна, независимо от движения источника или приемника света.

2. В двух системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга, все законы природы строго одинаковы, и нет никакого средства обнаружить абсолютное прямолинейное и равномерное движение.

Существует много экспериментов, подтверждающих оба эти положения, и нет ни одного, который бы противоречил какому-либо из них. Первое положение выражает постоянство скорости света, второе обобщает принцип относительности Галилея, сформулированный для механических явлений, на все явления, происходящие в природе.

В механике мы видели, что если скорость материальной точки относительно одной системы координат такая-то, то она будет иной в другой системе, движущейся прямолинейно и равномерно относительно первой. Это вытекает из простых принципов механического преобразования. Они непосредственно даны нашей интуицией (человек, движущийся относительно корабля и берега) и, очевидно, здесь нет никакой ошибки! Но этот закон преобразования находится в противоречии с постоянством скорости света. Другими словами, мы прибавляем третий принцип.

3. Координаты и скорости преобразуются от одной инерциальной системы к другой согласно классическому преобразованию.

Противоречие очевидно. Мы не можем объединить три указанных выше принципа.

Классическое преобразование кажется слишком очевидным и простым, чтобы попытаться изменить его. Мы уже пытались изменить первые два принципа и пришли к несогласию с экспериментом. Все теории движения эфира требовали изменения первых двух принципов. Но это не приносило никакой пользы. Еще раз мы убеждаемся в серьезности наших трудностей. Необходим новый путь. Это путь *признания первого и второго положения* исходными и, хотя это и кажется странным, — *отказа от*

третьего положения. Новый путь начинается с анализа наиболее фундаментальных и простых понятий. Мы покажем, как этот анализ вынуждает нас изменить наши старые взгляды и устраняет все наши трудности.

Время, пространство, относительность

Наши новые предположения суть.

1. *Скорость света в вакууме одинакова во всех системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга.*

2. *Все законы природы одинаковы во всех системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга.*

Теория относительности начинается с этих двух положений. С этого времени мы не будем применять классического преобразования, так как знаем, что оно противоречит исходным положениям.

В данном случае, как и всегда в науке, важно отказаться от глубоко укоренившихся, часто некритически повторяемых предрассудков. Так как мы видели, что изменения обоих положений приводят к противоречию с экспериментом, то мы должны иметь смелость твердо установить их справедливость и напасть на один возможно слабый пункт, а именно: на способ, которым координаты и скорости преобразуются от одной системы координат к другой. Мы хотим сделать выводы из этих двух положений, посмотреть, где и как эти положения противоречат классическому преобразованию, и найти физический смысл полученных результатов.

Можно еще раз использовать пример с движущейся комнатой и наблюдателями внутри и вне ее. Пусть световой сигнал опять излучается из центра комнаты и вновь мы спрашиваем обоих людей, что они обнаружат, допустив только два вышеуказанных принципа и забыв то, что было предварительно сказано о среде, сквозь которую проходит свет. Приведем их ответ.

Внутренний наблюдатель. Световой сигнал, идущий от центра комнаты, достигнет стен *одновременно*, так как все стены одинаково отстоят от источника света, а скорость света одинакова во всех направлениях.

Внешний наблюдатель. В моей системе координат скорость света совершенно такая же, как и в системе наблюдателя, движущегося вместе с комнатой. Мне нет дела до того, движется ли источник света в моей системе или нет, так как его движение не влияет на скорость света. То, что я вижу, это — световой сигнал, идущий с постоянной скоростью, одинаковой во всех направлениях. Одна из стен стремится убежать от светового сигнала, а другая — приблизиться к нему. Поэтому убегающая стена будет достигнута световым сигналом немного позднее, чем приближающаяся. Хотя эта разность времен прибытия светового сигнала будет очень незначительной, если скорость комнаты мала по сравнению

со скоростью света, тем не менее световой сигнал не достигнет обеих противоположных стен, расположенных перпендикулярно направлению движения, совершенно одновременно.

Сравнивая предсказания обоих наблюдателей, мы, обнаруживаем крайне удивительный результат, который явно противоречит несомненно хорошо обоснованным понятиям классической физики. Оба события — достижение стен двумя световыми лучами — одновременны для наблюдателя внутри и неодновременны для наблюдателя вне комнаты. В классической физике у нас были одни часы, одно течение времени для всех наблюдателей во всех системах. Время, а стало быть, и такие слова, как «одновременно», «ранее», «позднее», имели абсолютное значение, не зависящее от какой-либо системы. Два события, происходящие в одно и то же время в одной системе координат, происходили одновременно во всех системах координат.

Предположения „1“ и „2“, т. е. теория относительности, вынуждают нас отказаться от этого взгляда. Мы описали два события, которые происходят одновременно в одной системе координат, но в разное время в другой системе. Наша задача — понять это следствие, понять смысл предложения: «Два события, одновременные в одной системе координат, могут быть не одновременны в другой системе».

Что мы обозначаем словами: «два одновременных события в одной системе координат»? Интуитивно каждый человек считает, что он понимает смысл этого предложения. Но будем осторожными и постараемся дать строгие определения, так как мы знаем, как опасно переоценивать интуицию. Ответим сначала на простой вопрос.

Что такое часы?

Примитивное субъективное чувство течения времени позволяет нам упорядочить наши впечатления, судить о том, что одно событие происходит раньше, другое позднее. Но чтобы показать, что промежуток времени между двумя событиями равен десяти секундам, нужны часы. Благодаря применению часов понятие времени становится объективным. В качестве часов может быть использовано любое физическое явление, если только оно может быть повторено столько раз, сколько необходимо. Если мы возьмем интервал между началом и концом такого события за единицу времени, то любые интервалы времени мы можем измерить повторением этого физического процесса. Все часы, от простых песочных до наиболее совершенных, основаны на этой идее. При пользовании песочными часами единицей времени будет являться интервал, в течение которого песок высыпается из верхнего стаканчика в нижний. Тот же физический процесс может быть повторен переворачиванием часов.

Пусть в двух отдаленных друг от друга точках пространства находится двое идеально идущих часов, точно показывающих одинаковое

время. Это положение будет справедливым, несмотря на ту осторожность, с которой мы его проверяем. Но что это означает в действительности? Как можем мы удостовериться, что удаленные друг от друга часы всегда показывают одинаковое время? Можно использовать один из возможных методов — телевидение. Легко понять, что телевидение берется как пример; само по себе оно несущественно для наших доводов. Я мог бы стоять около одних часов и смотреть на изображение других часов на экране телевизора. Тогда я мог бы судить, показывают ли часы одновременно одинаковое время или нет. Но это не было бы хорошим доказательством. Изображение в телевизоре передается электромагнитными волнами, следовательно, распространяется со скоростью света. На экране телевизора я вижу изображение, посланное некоторое очень короткое время тому назад, в то время как на часах, стоящих возле меня, я вижу то, что происходит в настоящий момент. Эту трудность можно легко преодолеть. Для этого нужно рассмотреть изображения обоих часов в точке, одинаково отстоящей от каждого из них, т. е. рассмотреть их в точке, лежащей на середине расстояния между часами. Тогда, если сигналы посланы одновременно, они достигнут меня в один и тот же момент. Если двое хороших часов, наблюдаемых в точке, находящейся посередине между ними, показывают одинаковое время, то они вполне подходят для указания времени событий в двух отдаленных точках.

В механике мы употребляли только одни часы. Но это было не очень удобно, потому что мы должны были производить все измерения вблизи этих часов. Смотря на удаленные от нас часы, например с помощью телевизора, мы всегда должны помнить следующее: то, что мы видим теперь, в действительности произошло раньше; так, мы видим свет от Солнца, спустя восемь минут после того, как свет излучен. Во все показания часов мы должны вносить поправки, соответствующие нашему расстоянию от часов¹.

Поэтому неудобно иметь только одни часы. Однако теперь, поскольку мы знаем, как проверить, показывают ли двое или вообще несколько часов одновременно одно и то же время, и идя тем же самым путем, мы легко можем вообразить себе в данной системе координат столько часов, сколько нам хочется.

Каждые из них помогут нам определить время событий, происходящих в непосредственном соседстве с ними. Все часы находятся в покое относительно системы координат. Они являются «хорошими» часами; они *синхронизированы*; это означает, что часы одновременно показывают одинаковое время.

¹ Это место исправлено по 2-му изданию (1942 г.). Ср. письмо к Соловину на стр. 556. — *Прим. ред.*

В нашей расстановке часов нет ничего удивительного или странного. Вместо одних-единственных часов мы применяем теперь много синхронизированных часов и поэтому можем легко проверить, одновременны ли два отдаленных события в данной системе координат или нет. Они одновременны, если синхронизированные часы вблизи них показывают одинаковое время в момент, когда происходят события. Теперь утверждение, что одно отдаленное событие происходит раньше другого, имеет определенный смысл. Его можно проверить с помощью синхронизированных часов, покоящихся в нашей системе координат.

Все это находится в согласии с классической физикой и не вызывает еще противоречий с классическим преобразованием.

Для определения одновременности событий часы синхронизируются с помощью сигналов. В наших рассуждениях существенно то, что сигналы передаются со скоростью света, со скоростью, которая играет такую фундаментальную роль в теории относительности.

Так как мы хотим заняться важной проблемой о двух системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно относительно друг друга, то мы должны рассмотреть два стержня, снабженных часами. В каждой из обеих систем, движущихся друг относительно друга, наблюдатель имеет теперь свой собственный масштаб со своим собственным набором часов, жестко связанным с масштабом.

При измерениях в классической механике мы употребляли одни часы во всех системах координат. Теперь мы имеем много часов в каждой системе координат. Это различие несущественно. Одни часы были достаточны, но никто не может возражать против употребления многих часов, пока они ведут себя как хорошо синхронизированные часы.

Теперь мы приближаемся к существенному пункту, показывающему, где классическое преобразование противоречит теории относительности. Что происходит, когда двое часов движутся прямолинейно и равномерно друг относительно друга? Физик, придерживающийся классических взглядов, ответил бы: ничего; их ритм остается одинаковым, и мы можем употреблять для показания времени движущиеся часы так же, как и покоящиеся. Таким образом, согласно классической физике, два события, одновременные в одной системе координат, будут одновременными в любой другой системе.

Но это не единственный возможный ответ. Мы можем столь же легко представить себе движущиеся часы, имеющие ритм, отличный от ритма покоящихся часов. Обсудим теперь эту возможность, не решая пока вопроса о том, изменяют ли на самом деле часы свой ритм при движении или нет. Что означает утверждение, что движущиеся часы изменяют свой ритм? Предположим ради простоты, что в верхней системе координат у нас только одни часы, а в нижней — много. У всех часов одинаковый

механизм и нижние часы синхронизированы, т. е. они показывают одновременно одинаковое время. Мы изобразили (рис. 63) три последовательных положения обеих систем, движущихся друг относительно друга. На первом рисунке положение стрелок верхних и нижних часов ради удобства взяты одинаковыми; так мы их поставили сами. Все часы показывают одинаковое время. На втором рисунке мы видим относительные положения обеих систем спустя некоторое время. Все часы в нижней системе показывают одинаковое время, но часы в верхней системе вышли из общего ритма. Их ритм изменился, и время отличается вследствие того, что часы движутся относительно нижней системы. На третьем рисунке мы видим, что различие в положении стрелок со временем увеличилось. Наблюдатель, покоящийся в нижней системе координат, нашел бы, что движущиеся часы изменили свой ритм. Конечно, тот же результат получился бы, если бы часы двигались по отношению к наблюдателю, покоящемуся в верхней системе координат; в этом случае в верхней системе должно было бы быть много часов, а в нижней — только одни. Закон природы должен быть одинаков в обеих системах, движущихся друг относительно друга.

В классической механике молчаливо предполагалось, что движущиеся часы не изменяют своего ритма. Это казалось столь очевидным, что едва ли было достойно упоминания. Но ничто не должно считаться вполне очевидным; если мы действительно желаем быть осторожными, мы должны подвергать анализу все положения, принимаемые в физике.

Нельзя считать какое-либо положение бессмысленным только потому, что оно отличается от положения классической физики. Мы можем легко представить себе, что движущиеся часы изменяют свой ритм, если закон этого изменения одинаков для всех инерциальных систем отсчета.

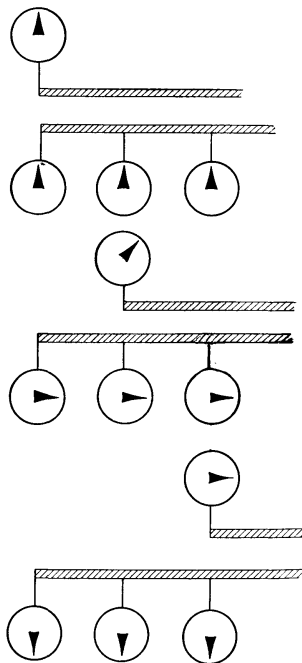


Рис. 63

Еще один пример. Возьмем метровый стержень; это значит, что длина стержня — один метр, пока он находится в покоящейся системе координат. Пусть он движется прямолинейно и равномерно, скользя вдоль масштаба, представляющего систему координат. Будет ли его длина и в этом случае равна одному метру? Мы должны знать заранее, как определять его длину. Пока стержень был в покое, его концы совпадали с нанесенными на масштабе отметками, расстояние между которыми равнялось одному метру. Из этого мы заключили: длина покоящегося стержня равна одному метру. Как мы измеряем длину этого стержня во время движения? Это можно было бы сделать следующим образом. В данный момент два наблюдателя делают одновременно моментальные фотоснимки начала движущегося стержня и его конца. Поскольку снимки сделаны одновременно, мы можем сравнить, с какими отметками масштаба совпадают начало и конец движущегося стержня. Таким путем мы определим его длину. Нужно, чтобы два наблюдателя отметили одновременные события, происходящие в различных частях данной системы. Нет никаких оснований считать, что результат таких измерений будет таким же, как и в случае, когда отрезок покоится. Поскольку фотографии должны быть сделаны одновременно, а одновременность, как мы знаем, является относительным понятием, зависящим от системы координат, то кажется вполне возможным, что результаты этих измерений будут различными в различных системах, движущихся друг относительно друга.

Мы легко можем представить, что не только движущиеся часы изменяют свой ритм, но и движущийся стержень изменяет свою длину, если законы изменений одинаковы для всех инерциальных систем.

Мы лишь обсуждали некоторые новые возможности, не приводя каких-либо оправданий в пользу их принятия.

Мы помним: скорость света одинакова во всех инерциальных системах отсчета. Этот факт несовместим с классическим преобразованием. Круг должен быть где-то разорван. Нельзя ли это сделать как раз здесь? Не можем ли мы предположить, что ритм движущихся часов и длина движущегося стержня изменяются как раз так, что постоянство скорости света будет следовать непосредственно из этого предположения? В самом деле, можно! Здесь впервые теория относительности и классическая физика радикально расходятся. Наш вывод может быть сформулирован иначе: если скорость света одинакова во всех системах, то движущиеся стержни должны изменять свою длину, движущиеся часы должны изменять свой ритм, а законы, управляющие этими изменениями, должны быть так же точно определены.

Во всем этом нет ничего таинственного или неразумного. В классической физике всегда предполагалось, что часы и в движении, и в покое имеют одинаковый ритм, что масштабы и в движении, и в покое имеют

одинаковую длину. Если скорость света одинакова во всех системах координат, если теория относительности справедлива, то мы должны пожертвовать этим положением. Трудно освободиться от глубоко укоренившихся предрассудков, но другого пути нет. С точки зрения теории относительности старые понятия кажутся произвольными. Почему надо верить, как это мы делали раньше, в абсолютное время, текущее одинаково для всех наблюдателей во всех системах? Почему надо верить в неизменяемое расстояние? Время определяется часами, пространственные координаты — масштабами, и результат этих определений может зависеть от поведения этих часов и масштабов, когда они находятся в движении. Нет оснований считать, что они будут вести себя так, как нам этого хотелось бы. Косвенное наблюдение, а именно: наблюдение электромагнитных явлений показывает, что движущиеся часы изменяют свой ритм, а масштаб — длину, в то время как, основываясь на механических явлениях, мы и не думали, что такое может быть. Мы должны принять понятие относительного времени в каждой системе координат, ибо это наилучший выход из трудностей. Дальнейший научный успех, достигнутый теорией относительности, показывает, что новый взгляд не должен рассматриваться как печальная необходимость, ибо успехи теории относительности оказались весьма значительными.

До сих пор мы старались показать, что привело к основным положениям теории относительности и как теория относительности вынуждала нас пересматривать и изменять классическое преобразование, по-новому трактуя понятия времени и пространства. Наша цель — указать идеи, образующие основу новых физических и философских взглядов. Эти идеи просты; но в той форме, в какой они здесь сформулированы, они недостаточны для того, чтобы получить выводы не только качественные, но и количественные. Мы опять должны применить наш старый метод объяснения только принципиальных идей и формулировки некоторых выводов без доказательства.

Чтобы сделать ясным различие между взглядом старого физика (назовем его С), верящего в классическое преобразование, и взглядом нового физика (назовем его Н), признающего теорию относительности, вообразим между ними следующий диалог.

С. Я верю в принцип относительности Галилея в механике, ибо я знаю, что законы механики одинаковы в двух системах, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга, или, другими словами, что эти законы инвариантны относительно классического преобразования.

Н. Но принцип относительности следует применять ко всем событиям внешнего мира. Не только законы механики, но и все законы природы должны быть одинаковы в системах, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга.

С. Но как все законы природы могут оказаться одинаковыми в системах, движущихся друг относительно друга? Ведь уравнения поля, т. е. уравнения Максвелла, инвариантны относительно классического преобразования. Это ясно обнаруживается на примере скорости света. Согласно классическому преобразованию, эта скорость не была бы одинаковой в двух системах, движущихся друг относительно друга.

Н. Это только показывает, что классическое преобразование нельзя применять, что связь между двумя системами координат должна быть иной и что мы не можем связывать координаты и скорости в разных системах координат так, как это сделано в этих законах преобразования. Мы должны заменить их новыми законами, выведя последние из основных положений теории относительности. Не будем заботиться о математическом выражении этих новых законов преобразования и удовлетворимся тем, что они отличны от классических. Мы назовем их кратко *преобразованиями Лоренца*. Можно показать, что уравнения Максвелла, т. е. законы поля, инвариантны по отношению к преобразованиям Лоренца, подобно тому, как законы механики инвариантны по отношению к классическим преобразованиям. Вспомним, как обстояло дело в классической физике. Мы имели законы преобразования для координат, законы преобразования для скоростей, но законы механики были одинаковы для обеих систем координат, движущихся прямолинейно и равномерно относительно друг друга. У нас были законы преобразования для пространства, но не для времени, потому что время было одинаково во всех системах координат. Однако здесь, в теории относительности, оно различно. Здесь мы имеем законы преобразования пространства, времени и скоростей, отличающиеся от классических законов. Но законы природы опять должны быть одинаковы во всех системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга. Законы природы должны быть инвариантны, но не по отношению к классическим преобразованиям, как прежде, а по отношению к новому типу преобразований — так называемым преобразованиям Лоренца. Во всех инерциальных системах справедливы те же самые законы, а переход от одной системы к другой дается преобразованиями Лоренца.

С. Я верю вам, но мне интересно было бы знать различие между преобразованиями классическими и преобразованиями Лоренца.

Н. Ответить на ваш вопрос лучше всего следующим образом. Сошлемся на некоторые характерные черты классических преобразований, и я постараюсь объяснить, сохраняются ли они в преобразованиях Лоренца, и если нет, то как они изменяются.

С. Если что-либо происходит в какой-то точке пространства в некоторый момент времени в моей системе координат, то наблюдатель, находящийся в другой системе координат, движущейся прямолинейно и равно-

мерно относительно моей, отмечает другое число, определяющее положение места, где происходит событие, но, конечно, то же самое время. Мы употребляем одни и те же часы во всех системах, независимо от того, движутся ли они или нет. Это и с вашей точки зрения справедливо?

Н. О нет! Каждая система координат должна быть снабжена собственными часами, покоящимися в ней, так как движение изменяет ритм часов. Два наблюдателя, находящиеся в различных системах координат, отмечают не только различные числа, определяющие положение, но и различные числа, определяющие время, в которое происходит это событие.

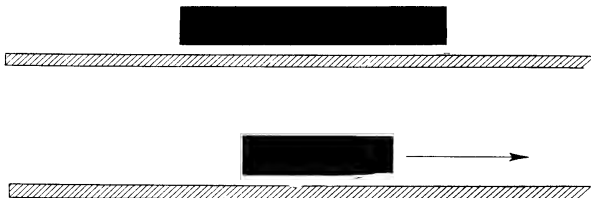


Рис. 64

С. Это означает, что время не является больше инвариантом. В классических преобразованиях время всегда одно и то же во всех системах. В преобразованиях Лоренца оно изменяется и ведет себя аналогично координате в старых преобразованиях. Интересно знать, как обстоит дело с длиной. Согласно классической механике, твердый стержень сохраняет свою длину как в движении, так и в покое. Верно ли это теперь?

Н. Неверно. В самом деле, из преобразований Лоренца следует, что движущийся стержень сокращается в направлении движения, и сокращение тем больше, чем больше скорость. Чем быстрее движется стержень, тем короче он оказывается. Но такое сокращение происходит только в направлении движения. На рис. 64 вы видите стержень, который сокращается до половины своей первоначальной длины, когда он движется со скоростью, приближающейся к 0,9 скорости света. Однако в направлении, перпендикулярном к движению, сокращения нет, что я и постарался проиллюстрировать на рис. 65.

С. Это означает, что ритм движущихся часов и длина движущихся стержней зависит от скорости. Но каким образом?

Н. Изменение становится более заметным по мере возрастания скорости. Из преобразований Лоренца следует, что стержень сократится до нуля, если его скорость достигнет скорости света. Аналогично этому ритм

движущихся часов замедляется сравнительно с часами, мимо которых они проходят вдоль стержня; часы совершенно остановились бы, если бы они могли двигаться со скоростью света.

С. Это кажется противоречащим всему нашему опыту. Мы знаем, что вагон не становится короче, когда он в движении, и мы знаем также, что машинист всегда может сравнить свои «хорошие» часы с часами, мимо которых он проезжает, находя, что они хорошо согласованы друг с другом, вопреки Вашему утверждению.

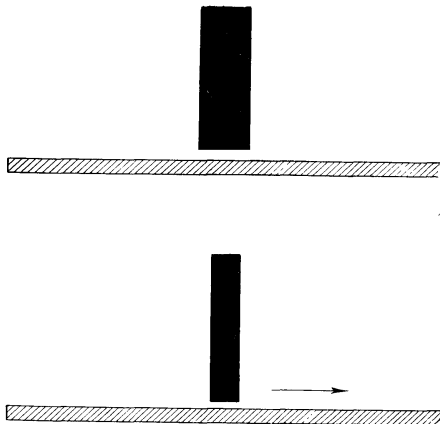


Рис. 65

Н. Это, конечно, верно. Но все скорости в механике очень малы по сравнению со скоростью света, поэтому нелепо применять теорию относительности к этим явлениям. Каждый машинист может спокойно применять классическую физику, даже если он увеличит свою скорость в сотни тысяч раз. Мы могли бы ожидать несогласия между экспериментом и классическими преобразованиями только в случае скоростей, приближающихся к скорости света. Справедливость преобразований Лоренца может быть проверена лишь при очень больших скоростях.

С. Но имеется и другая трудность. Согласно механике, я могу вообразить тела, обладающие скоростями, даже большими, чем скорость света. Тело, движущееся со скоростью света относительно плывущего корабля,

движется со скоростью, большей чем скорость света, относительно берега. Что произойдет со стержнем, который сократился до нуля, когда его скорость сравнялась со скоростью света? Едва ли мы можем ожидать отрицательной длины, если скорость стержня становится больше скорости света.

Н. В действительности нет никакого основания для такой иронии! С точки зрения теории относительности материальные тела не могут иметь скорости, большей чем скорость света. Скорость света является верхним пределом скоростей для всех материальных тел. Если скорость тела относительно корабля равна скорости света, то и относительно берега она тоже будет равна скорости света. Простой механический закон сложения и вычитания скоростей больше несправедлив или, более точно, справедлив лишь приближенно для малых скоростей, но не для скоростей, близких к скорости света. Число, выражающее скорость света, явно входит в преобразования Лоренца и играет роль предельной скорости, подобно бесконечной скорости в классической механике. Эта более общая теория не противоречит классическим преобразованиям и классической механике. Наоборот, к старым понятиям мы возвращаемся как к предельному случаю, когда скорости малы. С точки зрения новой теории ясно, в каких случаях справедлива классическая физика и где лежат ее пределы. Было бы нелепо применять теорию относительности к движению автомобилей, пароходов и поездов, как нелепо употреблять счетную машину, там, где вполне достаточна таблица умножения.

Относительность и механика

Теория относительности с необходимостью возникает из серьезных и глубоких противоречий в старой теории, из которых, казалось, не было выхода. Сила новой теории заключается в согласованности и простоте, с которой она разрешает все эти трудности, используя лишь немногие очень убедительные предположения.

Хотя теория возникла из проблемы поля, она должна охватить все физические законы. Трудность, по-видимому, появляется здесь. Законы поля, с одной стороны, и законы механики, с другой, имеют совершенно различный характер. Уравнения электромагнитного поля инвариантны по отношению к преобразованиям Лоренца, а уравнения механики инвариантны по отношению к классическим преобразованиям. Но теория относительности требует, чтобы все законы природы были инвариантны по отношению к лоренцовым, а не классическим преобразованиям. Последние являются лишь специальным, предельным случаем преобразований Лоренца, когда относительные скорости обеих систем координат очень малы. Если это так, то классическую механику следует изменить, чтобы согласовать ее с требованием инвариантности по отношению к пре-

образования Лоренца. Или, другими словами, классическая механика не может быть справедливой, если скорости приближаются к скорости света. Переход от одной системы координат к другой может осуществляться только единственным путем — через преобразования Лоренца.

Классическую механику нетрудно было изменить так, чтобы она не противоречила ни теории относительности, ни избылию материала, полученного наблюдением и объясненного классической механикой. Старая механика справедлива для малых скоростей и образует предельный случай новой механики.

Интересно рассмотреть какой-либо пример изменения в классической механике, которое вносит теория относительности. Возможно, это приведет нас к некоторым выводам, которые могут быть подтверждены или опровергнуты экспериментом.

Предположим, что тело, имеющее определенную массу, движется вдоль прямой и подвергается воздействию внешней силы, действующей в направлении движения. Сила, как мы знаем, пропорциональна изменению скорости. Или, чтобы сказать яснее: не имеет значения, увеличивает ли данное тело свою скорость за одну секунду со 100 до 101 метра в секунду, или от 100 километров до 100 километров и одного метра в секунду, или от 300 000 километров до 300 000 километров и одного метра в секунду. Сила, необходимая для сообщения данному телу какого-либо определенного изменения скорости, всегда одна и та же.

Верно ли это положение с точки зрения теории относительности? Ником образом! Этот закон справедлив только для малых скоростей. Каков же, по теории относительности, закон для больших скоростей, приближающихся к скорости света? Если скорость велика, то необходима чрезвычайно большая сила, чтобы увеличить ее. Вовсе не одно и то же — увеличить ли на один метр в секунду скорость, равную примерно 100 метрам в секунду, или же скорость, приближающуюся к световой. Чем ближе скорость к скорости света, тем труднее ее увеличить. Когда скорость равна скорости света, то уже невозможно увеличить ее дальше. Таким образом, то новое, что вносит теория относительности, не является удивительным. Скорость света есть верхний предел для всех скоростей. Никакая конечная сила, как бы велика она ни была, не может вызвать увеличения скорости сверх этого предела. На место старого закона механики, связывающего силу и изменение скорости, появляется более сложный закон. С нашей новой точки зрения классическая механика проще потому, что почти во всех наблюдениях мы имеем дело со скоростями, значительно меньшими, чем скорость света.

Покоящееся тело имеет определенную массу, так называемую *массу покоя*. Мы знаем из механики, что всякое тело сопротивляется изменению его движения; чем больше масса, тем сильнее сопротивление, и чем

меньше масса, тем слабее сопротивление. Но в теории относительности мы имеем нечто большее. Тело сопротивляется изменению сильнее не только в случае, когда больше масса покоя, но и в случае, когда его скорость больше. Тела, скорости которых приближались бы к скорости света, оказывали бы очень сильное сопротивление внешним силам. В классической механике сопротивление данного тела есть всегда нечто неизменное, характеризующее только его массой. В теории относительности оно зависит и от массы покоя, и от скорости. Сопротивление становится бесконечно большим, по мере того, как скорость приближается к скорости света.

Только что указанные выводы позволяют нам подвергнуть теорию экспериментальной проверке. Оказывают ли снаряды, движущиеся со скоростями, близкими к скорости света, сопротивление действию внешней силы так, как это предсказывает теория? Так как эти положения теории относительности выражены в форме количественных соотношений, то мы могли бы подтвердить или опровергнуть теорию, если бы мы обладали снарядами, движущимися со скоростями, близкими к скорости света.

Мы действительно находим в природе снаряды, движущиеся с такими скоростями. Атомы радиоактивного вещества, например радия, действуют подобно батарее, которая стреляет снарядами, движущимися с огромными скоростями. Не входя в детали, мы можем указать только на один из самых важных взглядов современной физики и химии. Все вещество в мире построено из элементарных частиц, число разновидностей которых невелико. Подобно этому в одном городе здания различны по величине, конструкции и архитектуре, но на постройку всех их, от хижины до небоскреба, использованы кирпичи лишь очень немногих сортов, одинаковых во всех зданиях. Так, все известные химические элементы нашего материального мира — от легчайшего водорода до наиболее тяжелого урана — построены из одинакового рода кирпичей, т. е. одинакового рода элементарных частиц. Наиболее тяжелые элементы — наиболее сложные строения — неустойчивы, и они распадаются или, как мы говорим, они радиоактивны. Некоторые кирпичи, т. е. элементарные частицы, из которых состоят радиоактивные атомы, выбрасываются иногда с очень большими скоростями, близкими к скорости света. Атом элемента, скажем, радия, согласно нашим современным взглядам, подтверждаемым многочисленными экспериментами, обладает сложной структурой, и радиоактивный распад является одним из тех явлений, в которых выявляется, что атом построен из более простых кирпичей — элементарных частиц.

С помощью очень остроумных и сложных экспериментов мы можем обнаружить, как частицы сопротивляются действию внешней силы. Эксперименты показывают, что сопротивление, оказываемое этими частицами, зависит от скорости и как раз так, как это предсказывается теорией

относительности. Во многих других случаях, где можно было обнаружить зависимость сопротивления от скорости, было установлено полное согласие между теорией относительности и экспериментом. Мы еще раз видим существенные черты творческой работы в науке: предсказание определенных фактов теорией и подтверждение их экспериментом.

Этот результат приводит к дальнейшему важному обобщению. Покоящееся тело имеет массу, но не имеет кинетической энергии, т. е. энергии движения. Движущееся тело имеет и массу, и кинетическую энергию. Оно сопротивляется изменению скорости сильнее, чем покоящееся тело. Кажется, что кинетическая энергия движущегося тела как будто увеличивает его сопротивление. Если два тела имеют одинаковую массу покоя, то тело с большей кинетической энергией сопротивляется действию внешней силы сильнее.

Представим себе ящик, наполненный шарами; пусть ящик и шары покоятся в нашей системе координат. Чтобы привести его в движение, чтобы увеличить его скорость, требуется некоторая сила. Но будет ли эта сила производить то же самое увеличение скорости за тот же промежуток времени, если шары в ящике будут быстро двигаться по всем направлениям, подобно молекулам в газе, со средними скоростями, близкими к скорости света? Теперь необходима будет большая сила, так как возросшая кинетическая энергия шаров усиливает сопротивление ящика. Энергия, во всяком случае кинетическая энергия, сопротивляется движению так же, как и весовая масса. Справедливо ли это и в отношении всех видов энергии?

Теория относительности, исходя из своих основных положений, дает ясный и убедительный ответ на этот вопрос, ответ опять-таки количественного характера: всякая энергия сопротивляется изменению движения; всякая энергия ведет себя подобно веществу; кусок железа весит больше, когда он раскален докрасна, чем когда он холоден; излучение, испускаемое Солнцем и проходящее через пространство, содержит энергию и поэтому имеет массу; Солнце и все излучающие звезды теряют массу вследствие излучения. Это заключение, совершенно общее по своему характеру, является важным достижением теории относительности и соответствует всем фактам, которые привлекались для его проверки.

Классическая физика допускала две субстанции: вещество и энергию. Первое имело вес, а вторая была невесома. В классической физике мы имели два закона сохранения: один для вещества, другой для энергии. Мы уже ставили вопрос о том, сохраняет ли еще современная физика этот взгляд на две субстанции и два закона сохранения. Ответ таков: нет. Согласно теории относительности, нет существенного различия между массой и энергией. Энергия имеет массу, а масса представляет собой энергию. Вместо двух законов сохранения мы имеем только один: закон

сохранения массы-энергии. Этот новый взгляд оказался очень плодотворным в дальнейшем развитии физики.

Как это случилось, что тот факт, что энергия обладает массой, а масса представляет собой энергию, столь долго оставался неизвестным? Весит ли кусок нагретого железа больше, чем кусок холодного? Теперь мы отвечаем «да», а раньше (см. стр. 385) отвечали «нет». Страницы, лежащие между этими двумя ответами, разумеется, не могут скрыть этого противоречия.

Трудности, стоящие здесь перед нами, того же порядка, какие встречались нам и прежде. Изменение массы, предсказанное теорией относительности, неизмеримо мало, его нельзя обнаружить прямым взвешиванием даже с помощью очень чувствительных весов. Доказательство того, что энергия не невесома, можно получить многими очень убедительными, но косвенными путями.

Причина этого недостатка непосредственной очевидности состоит в очень малой величине взаимодействия между веществом и энергией. Энергия по отношению к массе подобна обесцененной валюте, взятой по отношению к валюте высокой ценности. Один пример сделает это ясным. Количество теплоты, способное превратить тридцать тысяч тонн воды в пар, весило бы около одного грамма. Энергия столь долго считалась невесомаю просто потому, что масса, которая ей отвечает, слишком мала.

Старая энергия-субстанция есть вторая жертва теории относительности. Первой была среда, в которой распространялись световые волны.

Влияние теории относительности выходит далеко за пределы тех проблем, из которых она возникла. Она снимает трудности и противоречия теории поля; она формулирует более общие механические законы; она заменяет два закона сохранения одним; она изменяет наше классическое понятие абсолютного времени. Ее ценность не ограничивается лишь сферой физики; она образует общий остов, охватывающий все явления природы.

Пространственно-временной континуум

«Французская революция началась в Париже 14-го июля 1789 года». В этом предложении установлены место и время события. Тому, кто слышит это утверждение впервые и кто не знает, что значит «Париж», можно было бы сказать: это — город на нашей Земле, расположенный на 2° восточной долготы и 49° северной широты. Два числа характеризовали бы тогда место, а «14 июля 1789 года» — время, в которое произошло событие. В физике точная характеристика, когда и где произошло событие, чрезвычайно важна, гораздо важнее, чем в истории, так как эти числа образуют основу количественного, описания.

Ради простоты мы рассматривали прежде только движение вдоль прямой. Нашей координатной системой был твердый стержень с началом, но без конца. Сохраним это ограничение. Отметим на стержне различные точки; положение каждой из них может быть охарактеризовано только одним числом — координатой точки. Сказать, что координата точки равна 7,586 метра, означает, что ее расстояние от начала стержня равно 7,586 метра. Наоборот, если кто-то задает мне любое число и единицу измерения, я всегда могу найти точку на стержне, соответствующую этому числу. Мы видим, что каждому числу соответствует определенная точка на стержне, а каждой точке соответствует определенное число. Этот факт выражается математиками в следующем предложении: *все точки стержня образуют одномерный континуум*. Тогда существует точка, сколь угодно близкая к данной

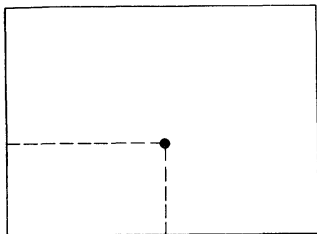


Рис. 66

точке стержня. Мы можем связать две отдаленные точки на стержне рядом отрезков, расположенных один за другим, каждый из которых сколь угодно мал. Таким образом, тот факт, что эти отрезки, связывающие отдаленные точки, могут быть взяты сколь угодно малыми, является характеристикой континуума.

Возьмем другой пример. Пусть мы имеем плоскость или, если вы предпочитаете что-либо более конкретное, поверхность прямоугольного стола (рис. 66). Положение точки на этом столе можно охарактеризовать двумя числами, а не одним, как раньше. Два числа суть расстояния от двух перпендикулярных краев стола. Не одно число, а пара чисел соответствует каждой точке плоскости; каждой паре чисел соответствует определенная точка. Другими словами: *плоскость есть двумерный континуум*. Тогда существуют точки, сколь угодно близкие к данной точке плоскости. Две отдаленные точки могут быть связаны кривой, разделенной на отрезки, сколь угодно малые. Таким образом, произвольная малость отрезков, последовательно укла-

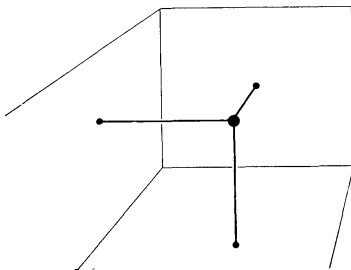


Рис. 67

дывающихся на кривой, связывающей две отдаленные точки, каждая из которых может быть определена двумя числами, снова является характеристикой двумерного континуума.

Еще один пример. Представим себе, что вы хотите в качестве системы координат рассматривать свою комнату. Это означает, что вы хотите любое положение тела определить относительно стен комнаты. Положение центра лампы, если она в покое, может быть описано тремя числами: два из них определяют расстояние от двух перпендикулярных стен, а третье — расстояние от пола или потолка. Каждой точке пространства соответствуют три определенных числа; каждым трем числам соответствует определенная точка в пространстве (рис. 67). Это выражается предложением: *наше пространство есть трехмерный континуум*. Существуют точки, весьма близкие к каждой данной точке пространства. И опять произвольная малость отрезков линии, связывающей отдаленные точки, каждая из которых представлена тремя числами, есть характеристика трехмерного континуума.

Но все это едва ли относится к физике. Чтобы вернуться к физике, нужно рассмотреть движение материальных частиц. Чтобы исследовать и предсказывать явления в природе, необходимо рассматривать не только место, но и время физических событий. Возьмем снова простой пример.

Маленький камешек, который примем за частицу, падает с башни. Допустим, что высота башни равна 80 метрам. Со времен Галилея мы в состоянии предсказать координаты камня в произвольный момент времени после начала его падения. На этой странице представлено «расписание», приблизительно описывающее положение камня после 1, 2, 3 и 4 секунд.

Время, сек	Высота над землей, м
0	80
1	75
2	60
3	35
4	0

20 м

1 сек

Рис. 68

В нашем «расписании» зарегистрированы пять событий, каждое из которых представлено двумя числами — временем и пространственной координатой каждого события. Первое событие есть начало движения камня с высоты 80 метров от земли в момент времени, равный нулю. Второе событие есть совпадение камня с отметкой на стержне на высоте 75 метров от земли. Это будет отмечено по истечении одной секунды. Последнее событие есть удар камня о землю.

Те сведения, которые записаны в «расписании», можно было бы представить иначе. Пять пар чисел ее можно было бы представить как пять точек на плоскости. Установим сначала масштаб. Например: пусть один отрезок будет изображать метр, а другой секунду (рис. 68).

Затем начертим две перпендикулярные линии; одну из них, скажем горизонтальную, назовем временной осью, вертикальную же — пространственной осью. Мы сразу же видим, что наше «расписание» можно представить пятью точками в пространственно-временной плоскости (рис. 69).

Расстояния точек от пространственной оси представляют собой координаты времени, указанные в первой колонке «расписания», а расстояния от временной оси — их пространственные координаты.

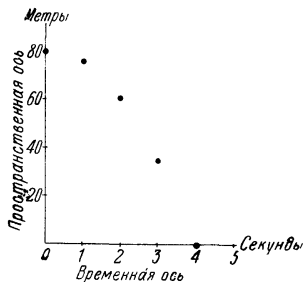


Рис. 69

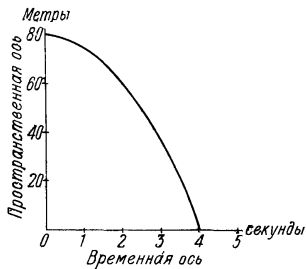


Рис. 70

Одна и та же связь выражена двумя способами: с помощью «расписания» и точками на плоскости. Одно может быть построено из другого. Выбор между этими двумя представлениями является лишь делом вкуса, ибо в действительности они оба эквивалентны.

Сделаем теперь еще один шаг. Представим себе улучшенное «расписание», дающее положения не для каждой секунды, а, скажем, для каждой сотой или тысячной доли секунды. Тогда у нас будет много точек в нашей пространственно-временной плоскости. Наконец, если положение дается для каждого мгновения или, как говорят математики, если пространственная координата дается как функция времени, то совокупность точек становится непрерывной линией. Поэтому наш следующий рисунок (рис. 70) дает не отрывочные сведения, как прежде, а полное представление о движении камня.

Движение вдоль твердого стержня (башни), т. е. движение в одномерном пространстве, представлено здесь в виде кривой в двумерном пространственно-временном континууме. Каждой точке в нашем пространственно-временном континууме соответствует пара чисел, одно из которых отмечает временную, а другое — пространственную координату. Наоборот: определенная точка в нашем пространственно-временном континууме соответствует некоторой паре чисел, характеризующей событие.

Две соседние точки представляют собой два события, происшедшие в местах, близких друг от друга, и в моменты времени, непосредственно следующие друг за другом.

Вы могли бы возразить против нашего способа представления следующим образом: мало смысла в том, чтобы представлять время отрезками и механически соединить его с пространством, образуя двумерный континуум из двух одномерных континуумов. Но тогда вы должны были бы столь же серьезно протестовать против всех графиков, представляющих, например, изменение температуры в Нью-Йорке в течение последнего лета, или против графиков, изображающих изменение стоимости жизни за последние несколько лет, так как в каждом из этих случаев употребляется тот же самый метод. В температурных графиках одномерный температурный континуум соединяется с одномерным временным континуумом в двумерный температурно-временной континуум.

Вернемся к частице, падающей с 80-метровой башни. Наша графическая картина движения есть полезное соглашение, так как она позволяет нам характеризовать положение частицы в любой произвольный момент времени. Зная, как движется частица, мы хотели бы изобразить ее движение еще раз. Сделать это можно двумя путями.

Вспомним изображение частиц, изменяющих свое положение со временем в одномерном пространстве. Мы изображаем движение как ряд событий в одномерном пространственно-временном континууме. Мы не смешиваем время и пространство, применяя *динамическую* картину, в которой положения *изменяются* со временем.

Но можно изобразить то же самое движение другим путем. Мы можем образовать *статическую* картину, рассматривая кривую в двумерном пространственно-временном континууме. Теперь движение рассматривается как нечто заданное, существующее в двумерном пространственно-временном континууме, а не как нечто, изменяющееся в одномерном пространственном континууме.

Обе эти картины совершенно равноценны, и предпочтение одной из них перед другой есть лишь дело соглашения и вкуса.

То, что здесь сказано о двух картинах движения, не имеет отношения к теории относительности. Оба представления могут быть использованы с одинаковым правом, хотя классическая теория скорее предпочитала динамическую картину описания движения, как того, что происходит в пространстве, — статической картине, описывающей его в пространстве-времени. Но теория относительности изменила этот взгляд. Она явно предпочла статическую картину и нашла в этом представлении движения, как того, что существует в пространстве-времени, более удобную и более объективную картину реальности. Мы должны еще ответить на вопрос, почему эти две картины эквивалентны с точки зрения классической

физики и не эквивалентны с точки зрения теории относительности. Ответ будет понятным, если снова рассмотреть две системы координат, движущиеся прямолинейно и равномерно друг относительно друга.

Согласно классической физике, наблюдатели в обеих системах, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга, найдут для одного и того же события различные пространственные координаты, но одну и ту же временную координату. Таким образом, в нашем примере удар камня о землю характеризуется при нашем выборе системы координат временной координатой «4» и пространственной координатой «0». Согласно классической механике, наблюдатели, движущиеся прямолинейно и равномерно относительно выбранной системы координат, обнаружат, что камень достигнет земли спустя четыре секунды после начала падения. Но каждый из наблюдателей относит расстояние к своей системе координат, и они будут, вообще говоря, связывать различные пространственные координаты с событием соударения, хотя временная координата будет одной и той же для всех других наблюдателей, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга. Классическая физика знает только «абсолютное» время, текущее одинаково для всех наблюдателей. Для каждой системы координат двумерный континуум может быть разбит на два одномерных континуума: время и пространство. Благодаря «абсолютному» характеру времени переход от «статики» к «динамической» картине движения имеет в классической физике объективный смысл.

Но мы уже убедились в том, что классические преобразования не могут применяться в физике в общем случае. С практической точки зрения они еще пригодны для малых скоростей, но не годятся для обоснования фундаментальных физических вопросов.

Согласно теории относительности, момент соударения камня с землей не будет одним и тем же для всех наблюдателей. И временная, и пространственная координата будут различными в двух различных системах координат, и изменение временной координаты будет весьма заметным, если относительная скорость систем приближается к скорости света. Двумерный континуум не может быть разбит на два одномерных континуума, как в классической физике. Мы не можем рассматривать пространство и время раздельно при определении пространственно-временных координат в другой системе координат. Разделение двумерного континуума на два одномерных оказывается, с точки зрения теории относительности, произвольным процессом, не имеющим объективного смысла.

Все, что мы только что сказали, нетрудно обобщить для случая движения, не ограниченного прямой линией. В самом деле, для описания событий в природе нужно применить не два, а четыре числа. Физическое пространство, постигаемое через объекты и их движения, имеет три измерения, и положения объектов характеризуются тремя числами. Момент

события есть четвертое число. Каждому событию соответствует четыре определенных числа; каким-либо четырем числам соответствует определенное событие. Поэтому: мир событий образует *четырёхмерный континуум*. В этом нет ничего мистического, и последнее предположение одинаково справедливо и для классической физики, и для теории относительности. И опять различие обнаруживается лишь тогда, когда рассматриваются две системы координат, движущиеся друг относительно друга. Пусть движется комната, а наблюдатели внутри и вне ее определяют пространственно-временные координаты одних и тех же событий. Сторонник классической физики разобьет четырёхмерный континуум на трёхмерное пространство и одномерный временной континуум. Старый физик заботится только о преобразовании пространства, так как время для него абсолютно. Он находит разбиение четырёхмерного мирового континуума на пространство и время естественным и удобным. Но с точки зрения теории относительности время, так же как и пространство, изменяется при переходе от одной системы координат к другой; при этом преобразования Лоренца выражают трансформационные свойства четырёхмерного пространственно-временного континуума — нашего четырёхмерного мира событий.

Мир событий может быть описан динамически с помощью картины, изменяющейся во времени и набросанной на фоне трёхмерного пространства. Но он может быть также описан посредством статической картины, набросанной на фоне четырёхмерного пространственно-временного континуума. С точки зрения классической физики обе картины, динамическая и статическая, — равноценны. Но с точки зрения теории относительности статическая картина более удобна и более объективна.

Даже в теории относительности мы можем еще употреблять динамическую картину, если мы ее предпочитаем. Но мы должны помнить, что это деление на время и пространство не имеет объективного смысла, так как время больше не является «абсолютным». Дальше мы еще будем пользоваться «динамическим», а не «статическим» языком, но при этом всегда будем учитывать его ограниченность.

Общая теория относительности

Остается выяснить еще один момент. Пока еще не решен один из наиболее фундаментальных вопросов: существует ли инерциальная система? Мы узнали кое-что о законах природы, их инвариантности по отношению к преобразованиям Лоренца и их справедливости во всех инерциальных системах, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга. Мы имеем законы, но не знаем того «тела отсчета», к которому следует их отнести.

Для того чтобы больше знать об этих трудностях, побеседуем с физиком, стоящим на позиции классической физики, и зададим ему несколько простых вопросов:

— «Что такое инерциальная система?»

— «Это система координат, в которой справедливы законы механики. Тело, на которое не действуют внешние силы, движется в такой системе прямолинейно и равномерно. Это свойство позволяет нам, следовательно, отличить инерциальную систему координат от всякой другой».

— «Но что значит, что на тело не действуют никакие внешние силы?»

— «Это просто значит, что тело движется прямолинейно и равномерно в инерциальной системе координат».

Здесь вы могли бы еще раз поставить вопрос: «Что же такое инерциальная система координат?» Но, поскольку имеется мало надежд получить ответ, отличный от приведенного выше, постараемся добиться конкретной информации, изменив вопрос:

— «Является ли система, жестко связанная с Землей, инерциальной?»

— «Нет, потому что законы механики не являются строго справедливыми на Земле благодаря ее вращению. Систему координат, жестко связанную с Солнцем, можно считать инерциальной при решении многих проблем; но, когда мы говорим о вращении Солнца, мы снова заключаем, что жестко связанную с ним систему координат нельзя считать строго инерциальной».

— «Тогда, что конкретно является Вашей инерциальной системой координат и как следует выбрать состояние ее движения?»

— «Это только полезная фикция, и у меня нет никакого представления о том, как ее реализовать. Если бы только я мог изолироваться от всех материальных тел и освободиться от всех внешних влияний, то моя система координат была бы инерциальной».

— «Но что Вы имеете в виду, говоря о системе координат, свободной от всех внешних влияний?»

— «Я имею в виду, что система координат инерциальна». — Мы вновь вернулись к нашему первоначальному вопросу!

Наша беседа обнаруживает серьезную трудность в классической физике. Мы имеем законы, но не знаем, каково то тело отсчета, к которому следует их отнести, и все наше физическое построение оказывается возведенным на песок.

Мы можем подойти к той же трудности с другой точки зрения. Поставим себе, что во всей Вселенной существует только одно тело, образующее нашу систему координат. Это тело начинает вращаться. Согласно классической механике, физические законы для вращающегося тела отличны от законов для невращающегося тела. Если принцип инерции справедлив в одном случае, то он несправедлив в другом. Но все это

звучит очень сомнительно. Позволительно ли рассматривать движение лишь одного тела во всей Вселенной? Под движением тела мы всегда разумеем изменение его положения относительно другого тела. Поэтому говорить о движении одного-единственного тела значит противоречить здравому смыслу. Классическая механика и здравый смысл сильно расходятся в этом пункте. Рецепт Ньютона таков: если принцип инерции имеет силу, то система координат либо покоится, либо движется прямолинейно и равномерно. Если принцип инерции не имеет силы, то тело не находится в прямолинейном и равномерном движении. Таким образом, наш вывод о движении или покое зависит от того, применимы или нет все физические законы к данной системе координат.

Возьмем два тела, например Солнце и Землю. Движение, которое мы наблюдаем, опять *относительное*. Его можно описать с помощью системы координат, связанной либо с Землей, либо с Солнцем. С этой точки зрения великое достижение Коперника состоит в переносе системы координат с Земли на Солнце. Но поскольку движение относительно и можно применить любое тело отсчета, то оказывается, что нет никаких оснований для того, чтобы предпочесть одну систему координат другой.

Снова вмешивается физика и изменяет нашу общепринятую точку зрения. Система координат, связанная с Солнцем, имеет с инерциальной системой большее сходство, чем система, связанная с Землей. Физические законы предпочтительнее применять в системе Коперника, чем в системе Птолемея. Величие открытия Коперника может быть высоко оценено лишь с физической точки зрения. Физика показывает, что для описания движения планет система координат, жестко связанная с Солнцем, имеет огромные преимущества.

В классической физике нет никакого абсолютного прямолинейного и равномерного движения. Если две системы координат движутся прямолинейно и равномерно друг относительно друга, то нет никаких оснований говорить: «Эта система покоится, а другая движется». Но если обе системы координат находятся в непрямолинейном и неравномерном движении друг относительно друга, то имеется полное основание сказать: «Это тело движется, а другое покоится (или движется прямолинейно и равномерно)». Абсолютное движение имеет здесь вполне определенный смысл. В этом месте между здравым смыслом и классической физикой имеется широкая пропасть. Упомянутые трудности, касающиеся инерциальной системы, а также и трудности, касающиеся абсолютного движения, тесно связаны между собой. Абсолютное движение становится возможным только благодаря идее об инерциальной системе, для которой справедливы законы природы.

Может показаться, что будто бы нет выхода из этих трудностей, что будто бы никакая физическая теория не может избежать их. Источник их

лежит в том, что законы природы справедливы только для особого класса систем координат, а именно: для инерциальных. Возможность разрешения этих трудностей зависит от ответа на следующий вопрос. Можем ли мы сформулировать физические законы таким образом, чтобы они были справедливыми для всех систем координат, не только для систем, движущихся прямолинейно и равномерно, но и для систем, движущихся совершенно произвольно по отношению друг к другу? Если это можно сделать, то наши трудности будут разрешены. Тогда мы будем в состоянии применять законы природы в любой системе координат. Борьба между воззрениями Птолемея и Коперника, столь жестокая в ранние дни науки, стала бы совершенно бессмысленной. Любая система координат могла бы применяться с одинаковым основанием. Два предложения — «Солнце покоится, а Земля движется» и «Солнце движется, а Земля покоится» — означали бы просто два различных соглашения о двух различных системах координат.

Могли ли бы мы построить реальную релятивистскую физику, справедливую во всех системах координат; физику, в которой имело бы место не абсолютное, а лишь относительное движение? Это, в самом деле, оказывается возможным!

У нас есть по крайней мере одно, хотя и очень слабое, указание о том, как построить новую физику. Действительно, релятивистская физика должна применяться во всех системах координат, а стало быть и в специальном случае — в инерциальной системе. Мы уже знаем законы для этой инерциальной системы координат. Новые общие законы, справедливые для всех систем координат, должны в специальном случае инерциальной системы сводиться к старым, известным законам.

Проблема формулирования физических законов для всякой системы координат была разрешена так называемой *общей теорией относительности*; предыдущая теория, применяемая только к инерциальным системам, называется *специальной теорией относительности*. Эти две теории не могут, разумеется, противоречить друг другу, так как мы всегда должны включать установленные ранее законы специальной теории относительности в общие законы для неинерциальной системы. Но если раньше инерциальная система координат была единственной, для которой были сформулированы физические законы, то теперь она будет представлять особый предельный случай, поскольку допустимы любые системы координат, движущиеся произвольно по отношению друг к другу.

Такова программа общей теории относительности. Но, обрисовывая путь, каким она создавалась, мы должны быть еще менее конкретными, чем это было до сих пор. Новые трудности, возникающие в процессе развития науки, вынуждают нашу теорию становиться все более и более абстрактной. Нас ожидает еще ряд неожиданностей. Но наша постоянная конечная цель — все лучшее и лучшее понимание реальности. К логиче-

ской цепи, связывающей теорию и наблюдение, прибавляются новые звенья. Чтобы очистить путь, ведущий от теории к эксперименту, от ненужных и искусственных допущений, чтобы охватить все более обширную область фактов, мы должны делать цепь все длиннее и длиннее. Чем проще и фундаментальнее становятся наши допущения, тем сложнее математическое орудие нашего рассуждения; путь от теории к наблюдению становится длиннее, тоньше и сложнее. Хотя это и звучит парадоксально, но мы можем сказать: современная физика проще, чем старая физика, и поэтому она кажется более трудной и запутанной. Чем проще наша картина внешнего мира и чем больше фактов она охватывает, тем сильнее отражает она в наших умах гармонию Вселенной.

Наша новая идея проста: построить физику, справедливую для всех систем координат. Осуществление этой идеи приносит формальное усложнение и вынуждает нас использовать математические методы, отличные от тех, которые до сих пор применялись в физике. Мы покажем здесь только связь между осуществлением этой программы и двумя принципиальными проблемами: тяготением и геометрией.

Вне и внутри лифта

Закон инерции является первым большим успехом в физике, фактически ее действительным началом. Он был обнаружен при размышлении над идеализированным экспериментом, над телом, постоянно движущимся без трения и без воздействия каких-либо других внешних сил. Из этого примера, а позднее из многих других, мы узнали о важности идеализированного эксперимента, созданного мышлением. Здесь тоже будут обсуждаться идеализированные эксперименты. Хотя они и могут выглядеть весьма фантастично, тем не менее они помогут нам понять в относительности столько, сколько это возможно с помощью наших простых методов. Раньше у нас был идеализированный эксперимент с прямолинейно и равномерно движущейся комнатой. Здесь мы будем иметь дело с падающим лифтом.

Представим себе огромный лифт на башне небоскреба, гораздо более высокого, чем какой-либо из действительно построенных. Внезапно канат, поддерживающий лифт, обрывается, и лифт свободно падает по направлению к земле. Во время падения наблюдатели в лифте производят опыты. Описывая их, мы можем не заботиться о сопротивлении воздуха или трении, потому что в наших идеализированных условиях можно пренебречь их наличием. Один из наблюдателей вынимает платок и часы из своего кармана и выпускает их из рук. Что происходит с этими предметами? Для внешнего наблюдателя, который смотрит через окно лифта, и платок, и часы падают по направлению к земле с одинаковым ускорением. Мы помним, что ускорение падающих тел совершенно независимо от их масс, и

это было тем фактом, который обнаружил равенство тяжелой и инертной массы (стр. 381—382). Мы помним также, что равенство двух масс — тяжелой и инертной — с точки зрения классической механики было совершенно случайным фактом и не играло никакой роли в ее структуре. Однако здесь это равенство, отраженное в равенстве ускорения всех падающих тел, существенно и составляет основу всех наших рассуждений.

Вернемся к падающему платку и часам; для внешнего наблюдателя оба предмета падают с одинаковым ускорением. Но таково же ускорение и лифта, его стен, пола и потолка. Поэтому расстояние между обоими телами и полом не изменится. Для внутреннего наблюдателя оба тела остаются точно там же, где они были в тот момент, когда наблюдатель выпустил их из рук. Внутренний наблюдатель может игнорировать поле тяготения, так как источник последнего лежит вне его системы координат. Он находит, что никакие силы внутри лифта не действуют на оба тела, и, таким образом, они остаются в покое, как если бы они находились в инерциальной системе. Странные вещи происходят в лифте! Если наблюдатель толкает тело в каком-либо направлении, например вверх или вниз, то оно всегда движется прямолинейно и равномерно, пока не столкнется с потолком или полом лифта. Короче говоря, законы классической механики справедливы для наблюдателя внутри лифта. Все тела ведут себя так, как следовало ожидать по закону инерции. Наша новая система координат, жестко связанная со свободно падающим лифтом, отличается от инерциальной системы лишь в одном отношении. В инерциальной системе координат движущееся тело, на которое не действуют никакие силы, будет вечно двигаться прямолинейно и равномерно. Инерциальная система координат, рассматриваемая в классической физике, не ограничена ни в пространстве, ни во времени. Однако рассматриваемый случай с наблюдателем, находящимся в лифте, иной. Инерциальный характер его системы координат ограничен в пространстве и времени. Рано или поздно прямолинейно и равномерно движущееся тело столкнется со стенками лифта; при этом прямолинейное и равномерное движение нарушится. Рано или поздно весь лифт столкнется с землей, уничтожив наблюдателей и их опыты. Эта система координат является лишь «карманным изданием» реальной инерциальной системы.

Этот локальный характер системы координат весьма существен. Если бы наш воображаемый лифт достигал размеров от Северного полюса до экватора и платок был бы помещен на Северном полюсе, а часы на экваторе, то для внешнего наблюдателя оба тела не имели бы одинакового ускорения; они не были бы в покое друг относительно друга. Все наши рассуждения потерпели бы крушение! Размеры лифта должны быть ограничены так, чтобы можно было предположить равенство ускорений всех тел по отношению к внешнему наблюдателю.

С этим ограничением система координат, связанная с падающим лифтом, инерциальна для внутреннего наблюдателя. По крайней мере мы можем указать систему координат, в которой справедливы все физические законы, хотя она и ограничена во времени и пространстве. Если мы вообразим другую систему координат, другой лифт, движущийся прямолинейно и равномерно относительно свободно падающего, то обе эти системы координат будут локально инерциальными. Все законы совершенно одинаковы в обеих системах. Переход от одной системы к другой дается преобразованием Лоренца.

Посмотрим, каким путем оба наблюдателя, внешний и внутренний, описывают то, что происходит в лифте.

Внешний наблюдатель замечает движение лифта и всех тел в нем, и находит его соответствующим закону тяготения Ньютона. Для него движение является не равномерным, а ускоренным, вследствие действия поля тяготения Земли.

Однако поколение физиков, рожденное и воспитанное в лифте, рассуждало бы совершенно иначе. Оно было бы уверено в том, что оно обладает инерциальной системой, и относило бы все законы природы к своему лифту, заявляя с уверенностью, что законы принимают особенно простую форму в их системе координат. Для них было бы естественным считать свой лифт покоящимся и свою систему координат инерциальной.

Невозможно установить принципиальное различие между внешним и внутренним наблюдателем. Каждый из них мог бы претендовать на право отнести все события к своей системе координат. Оба описания событий можно было бы сделать одинаково последовательными.

Из этого примера мы видим, что последовательное описание физических явлений в двух различных системах координат возможно, даже если они не движутся прямолинейно и равномерно друг относительно друга. Но для такого описания мы должны принять во внимание тяготение, создающее, так сказать, «мост», позволяющий перейти от одной системы координат к другой. Поле тяготения существует для внешнего наблюдателя, для внутреннего наблюдателя оно не существует. Ускоренное движение лифта в поле тяготения существует для внешнего наблюдателя, для внутреннего же наблюдателя — покоя и отсутствие поля тяготения. Но «мост», т. е. поле тяготения, делающий описание в обеих системах координат возможным, покоится на одной очень важной опоре: эквивалентности тяжелой и инертной масс. Без этой руководящей идеи, оставшейся незамеченной в классической механике, наши теперешние рассуждения полностью отпали бы.

Возьмем несколько иной идеализированный эксперимент. Пусть имеет ся инерциальная система координат, в которой справедлив закон инерции. Мы уже описывали то, что происходит в лифте, покоящемся в такой

инерциальной системе. Но теперь мы изменим картину. Кто-то извне привязал к лифту канат и тянет его с постоянной силой в направлении, указанном на рис. 71. Неважно, как это осуществлено. Так как законы механики справедливы в этой системе координат, то лифт в целом движется с постоянным ускорением в направлении движения. Будем опять слушать объяснения явлений, происходящих в лифте, даваемые внешним и внутренним наблюдателями.

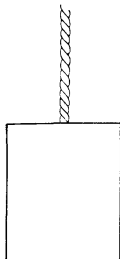


Рис. 71

Внешний наблюдатель. Моя система координат инерциальна. Лифт движется с постоянным ускорением, потому что подвергается воздействию постоянной силы. Наблюдатели внутри лифта находятся в абсолютном движении, для них законы механики несправедливы. Они не находят, что тела, на которые не действуют силы, покоятся. Если тело оставить свободным, оно скоро столкнется с полом лифта, так как пол движется вверх по направлению к телу. Это же происходит и с часами, и с платком. Мне кажется очень странным, что наблюдатель внутри лифта должен всегда быть на «полу», потому что, как только он прыгает, пол достигнет его вновь.

Внутренний наблюдатель. Я не вижу какого-либо основания считать, что мой лифт находится в абсолютном движении. Я согласен, что моя система координат, жестко связанная с лифтом, фактически неинерциальна, но я не думаю, что это имеет какое-то отношение к абсолютному движению. Мои часы, платок и все тела падают потому, что лифт в целом находится в поле тяготения. Я замечаю движение точно такого же рода, как и человек на Земле. Он объясняет его очень просто — действием поля тяготения. Такое же объяснение подходит и для меня.

Эти два описания, — одно данное внешним, а другое — внутренним наблюдателем, — вполне последовательны, и нет возможности решить, какое из них правильно. Мы можем принять любое из них для описания явлений в лифте: либо вместе с внешним наблюдателем принять неравномерность движения и отсутствие поля тяготения, либо вместе с внутренним наблюдателем принять покой и наличие поля тяготения.

Внешний наблюдатель может предположить, что лифт находится в «абсолютном» неравномерном движении. Но движение, которое уничтожается предположением о действии поля тяготения, не может считаться абсолютным.

Возможно, что имеется выход из неопределенности, созданной наличием двух различных описаний, и, может быть, можно было бы вынести решение в пользу одного и против другого. Представим себе, что световой луч входит в лифт горизонтально через боковое окно и спустя очень корот-

кое время достигает противоположной стены. Посмотрим, каковы будут предсказания обоих наблюдателей относительно пути луча.

Внешний наблюдатель, который считает, что лифт находится в ускоренном движении, утверждал бы: световой луч входит в окно и движется горизонтально вдоль прямой с постоянной скоростью по направлению к противоположной стене. Но лифт движется вверх, и за время, в течение которого свет доходит к стене, лифт изменит свое положение. Поэтому свет упадет в точку, расположенную не точно напротив точки его входа, а немного ниже (рис. 72). Смещение будет очень небольшим, но тем не менее оно существует, и световой луч проходит относительно лифта не вдоль прямой, а вдоль слабо искривленной линии. Это вызвано тем, что за то время, пока луч проходит внутри лифта, сам лифт смещается на некоторое расстояние.

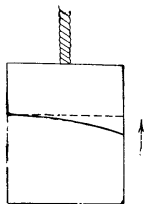


Рис. 72

Внутренний наблюдатель, который считает, что на все объекты в лифте действует поле тяготения, сказал бы: ускоренного движения лифта нет, а есть лишь действие поля тяготения. Луч света невесом и потому не будет подвергаться действию поля тяготения. Если его направить горизонтально, он упадет на стену в точке как раз напротив той, в которую он вошел.

Из этого обсуждения следует, что имеется возможность отбора одной из двух противоположных точек зрения, так как явление различалось бы для обоих наблюдателей. Если ни в одном из только что указанных объяснений нет ничего нелогичного, то все наши предыдущие рассуждения нарушаются, и мы не можем последовательно описывать все явления двумя методами, либо принимая поле тяготения, либо отказываясь от него.

Но, к счастью, в рассуждениях внутреннего наблюдателя имеется серьезная ошибка, спасающая наши предыдущие заключения. Он сказал: «Луч света невесом и потому не будет подвергаться действию поля тяготения». Но это неверно! Луч света несет энергию, а энергия имеет массу. Но на всякую инертную массу поле тяготения оказывает воздействие, так как инертная и тяжелая массы эквивалентны. Луч света будет искривляться в поле тяготения точно так же, как искривляется траектория тела, брошенного горизонтально со скоростью, равной скорости света. Если бы внутренний наблюдатель рассуждал строго и принял бы во внимание искривление световых лучей в поле тяготения, то его выводы были бы точно такими же, как и выводы внешнего наблюдателя.

Поле тяготения Земли, конечно, очень слабо для того, чтобы искривление светового луча в нем можно было обнаружить непосредственно экспериментом. Но известные опыты, сделанные во время солнечных

затмений, убедительно, хотя и косвенно, показывают влияние поля тяготения на путь светового луча.

Из этих примеров следует, что имеется вполне обоснованная надежда сформулировать релятивистскую физику. Но для этого мы должны сначала разрешить проблему тяготения.

Мы видели на примере с лифтом последовательность двух описаний. Можно предположить наличие неравномерности движения, а можно этого не делать. Мы можем исключить из наших примеров «абсолютное» движение с помощью поля тяготения. Но тогда в неравномерном движении нет *ничего* абсолютного. Поле тяготения в состоянии полностью его уничтожить.

Призраки абсолютного движения и инерциальной системы координат могут быть исключены из физики, и может быть построена новая релятивистская физика. Наши идеализированные опыты показывают, как тесно связана проблема общей теории относительности с проблемой тяготения и почему эквивалентность тяжелой и инертной масс так существенна для этой связи. Ясно, что решение проблемы тяготения в общей теории относительности должно отличаться от ньютоновского. Законы тяготения, так же как и все законы природы, должны быть сформулированы для всех возможных систем координат, в то время как законы классической механики, сформулированные Ньютоном, справедливы лишь в инерциальных системах координат.

Геометрия и опыт

Наш следующий пример будет более фантастичным, чем пример с падающим лифтом. Мы должны подойти к новой проблеме, проблеме связи между общей теорией относительности и геометрией. Начнем с описания мира, в котором живут лишь двумерные, а не трехмерные существа, как в нашем. Кинематограф приучил нас к двумерным существам, действующим на двумерном экране. Представим себе теперь, что эти теневые фигуры, действующие на экране, действительно существуют, что они обладают способностью мышления, что они могут создавать свою собственную науку, что для них двумерный экран олицетворяет геометрическое пространство. Эти существа не в состоянии представить себе наглядным образом трехмерное пространство так же, как мы не в состоянии представить мир четырех измерений. Они могут изогнуть прямую линию; они знают, что такое круг, но они не в состоянии построить сферу, потому что это означало бы покинуть их двумерный экран. Мы находимся в таком же положении. Мы в состоянии изогнуть и линии, и поверхности, но мы с трудом можем представить искривленное пространство.

Размышляя и экспериментируя, наши теневые фигуры могли бы, возможно, овладеть знанием двумерной евклидовой геометрии. Таким образом, они могли бы доказать, что сумма углов в треугольнике равна 180 градусам. Они могли бы построить два круга с общим центром, один очень малый, а другой большой. Они нашли бы, что отношение длин окружностей двух таких кругов равно отношению их радиусов — результат, опять характерный для евклидовой геометрии. Если бы экран был бесконечно велик, наши теневые существа нашли бы, что, отправившись однажды в путешествие вперед по прямой, они никогда не вернулись бы к своей отправной точке.

Представим себе теперь, что эти двумерные существа живут в **изв**нешних условиях. Предположим, что кто-то **извне**, из «третьего измерения», перенес их с экрана на поверхность сферы с очень большим радиусом. Если эти тени очень малы по отношению ко всей поверхности, если у них нет средств дальнего сообщения и они не могут двигаться очень далеко, они не обнаружат какого-либо изменения. Сумма углов в малых треугольниках еще составляет 180 градусов. Отношение радиусов двух малых кругов с общим центром еще равно отношению длин их окружностей.

Но пусть эти теневые существа с течением времени развивают свои теоретические и технические познания. Пусть ими найдены средства сообщения, позволяющие им быстро покрывать огромные расстояния. Тогда они найдут, что, отправляясь в путешествие прямо вперед, они, в конце концов, вернутся к своей исходной точке. «Прямо вперед» означает вдоль большого круга сферы. Они найдут также, что отношение длин двух концентрических окружностей не равно отношению радиусов, если один из радиусов мал, а другой велик.

Если наши двумерные существа консервативны, если их поколения изучали евклидову геометрию в прошлом, когда они не могли далеко путешествовать и когда эта геометрия соответствовала наблюдаемым фактам, то они, конечно, сделают все возможное, чтобы сохранить ее, несмотря на очевидность своих измерений. Они постараются заставить физику нести бремя этих противоречий. Они станут искать какие-либо физические основания, скажем, различие температур, которое деформирует линии и вызывает отклонение от евклидовой геометрии. Но рано или поздно они должны будут найти, что имеется гораздо более логический и последовательный путь описания этих явлений. Они окончательно поймут, что их мир конечен, что его геометрические принципы отличны от тех, которые они изучали. Несмотря на свою неспособность представить себе свой мир, они поймут, что он есть двумерная поверхность сферы. Они скоро изучат новые принципы геометрии, которая, хотя и отличается от евклидовой, тем не менее может быть сформулирована так же последовательно и логично для их двумерного мира. Новому поколению, воспитанному на знании

сферической геометрии, старая эвклидова геометрия будет казаться более сложной и искусственной, так как она не соответствует наблюдаемым фактам.

Вернемся к трехмерным существам нашего мира.

Что это значит, когда утверждают, что наше трехмерное пространство имеет эвклидов характер? Смысл этого в том, что все логически доказанные положения эвклидовой геометрии могут быть точно подтверждены действительным экспериментом. С помощью твердых тел или световых лучей мы можем построить объекты, соответствующие идеализированным объектам эвклидовой геометрии. Ребро линейки или световой луч соответствуют прямой. Сумма углов треугольника, построенного из тонких жестких стержней, равна 180 градусам. Отношение радиусов двух концентрических окружностей, построенных из тонкой упругой проволоки, равно отношению длин окружностей. Истолкованная таким образом эвклидова геометрия становится главой физики, хотя и очень простой ее главой.

Но мы можем представить себе, что обнаружены противоречия: например, что сумма углов большого треугольника, построенного из стержней, которые по всем признакам, должны были считаться твердыми, не равна 180 градусам. Так как мы уже прибегали к идее конкретного представления объектов эвклидовой геометрии с помощью твердых тел, мы, вероятно, стали бы искать какие-либо физические силы, которые явились причиной такого неожиданного поведения наших стержней. Мы постарались бы найти физическую природу этих сил и их влияние на другие явления. Чтобы спасти эвклидову геометрию, мы обвинили бы объекты в том, что они не тверды, что они не точно соответствуют объектам эвклидовой геометрии. Мы постарались бы найти лучшие тела, ведущие себя так, как это ожидается согласно эвклидовой геометрии. Если бы, однако, нам не удалось объединить эвклидову геометрию и физику в простую и последовательную картину, то мы должны были бы отказаться от идеи, что наше пространство эвклидово, и искать более последовательную картину реальности на основе более общих предположений о геометрических свойствах нашего пространства.

Необходимость этого может быть проиллюстрирована с помощью идеализированного эксперимента, показывающего, что действительно релятивистская физика не может основываться на эвклидовой геометрии. Наши рассуждения будут предполагать, что уже известны выводы, касающиеся инерциальной системы координат, а также специальная теория относительности.

Представим себе большой диск с двумя концентрическими окружностями, нарисованными на нем; одна из этих окружностей мала, другая очень велика (рис. 73). Диск быстро вращается. Он вращается относительно внешнего наблюдателя; пусть имеется еще внутренний наблюдатель, по-

мещающийся на диске. Предположим далее, что система координат внешнего наблюдателя инерциальна. Внешний наблюдатель может нарисовать в своей инерциальной системе две такие же окружности — малую и большую, покоящиеся в его системе, но совпадающие с окружностями на вращающемся диске. Эвклидова геометрия справедлива в его системе координат, так как его система инерциальна, — так что отношение длин окружностей равно отношению радиусов. А что же находит наблюдатель на диске? С точки зрения классической физики, а также специальной теории относительности, его система координат недопустима. Но если мы стремимся найти новую форму физических законов, справедливую в любой системе координат, мы должны рассматривать наблюдателя на диске и наблюдателя внешнего с одинаковой серьезностью. Теперь мы извне следим за попыткой внутреннего наблюдателя найти путем измерения длины окружностей и радиусов на вращающемся диске. Он использует такой же небольшой измерительный масштаб, какой был использован внешним наблюдателем. «Такой же» означает либо действительно тот же, просто переданный внешним наблюдателем внутреннему, либо один из двух масштабов, имеющих одинаковую длину в покоящейся системе координат.

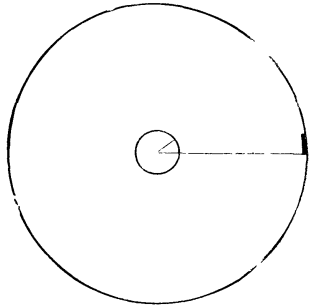


Рис. 73

Внутренний наблюдатель на диске начинает измерение радиуса и длины окружности малого круга. Его результат может оказаться таким же, как и результат внешнего наблюдателя. Ось, на которой вращается диск, проходит через центр. Те части диска, которые близки к центру, имеют очень небольшие скорости. Если окружность достаточно мала, мы можем спокойно применить классическую механику и не обращать внимания на специальную теорию относительности. Это означает, что отрезок имеет одинаковую длину как для внешнего, так и для внутреннего наблюдателя, и результат двух измерений будет одинаков для них обоих. Теперь наблюдатель на диске измеряет радиус большой окружности. Помещенный на радиусе отрезок движется относительно внешнего наблюдателя. Однако такой отрезок не сокращается и будет иметь одинаковую длину для обоих наблюдателей, так как направление движения перпендикулярно к отрезку. Итак, три акта измерения одинаковы для обоих наблюдателей: два радиуса и малая окружность. Но не так обстоит дело с измерением четвертой длины! Длина большой окружности будет различна для обоих наблю-

датель. Отрезок, помещенный на окружности в направлении движения, теперь будет казаться сокращенным для внешнего наблюдателя сравнительно с соответствующим ему покоящимся отрезком. Скорость на внешней окружности гораздо больше, чем скорость на внутренней окружности, и это сокращение должно быть учтено. Поэтому, если мы применим выводы специальной теории относительности, наше заключение будет таково: длина большой окружности должна быть различной, если она измеряется обоими наблюдателями. Так как только одна из четырех длин, измеренных обоими наблюдателями, не будет одинаковой для обоих, то для внутреннего наблюдателя отношение обоих радиусов не может быть равным отношению окружностей, как это имеет место для внешнего наблюдателя. Это означает, что наблюдатель на диске не может подтвердить справедливость евклидовой геометрии в своей системе.

После получения этого результата наблюдатель на диске может сказать, что он не хочет рассматривать систему координат, в которой несправедлива евклидова геометрия. Нарушение евклидовой геометрии обязано абсолютному вращению, тому факту, что система координат, с которой связан наблюдатель, плоха и недопустима. Но, утверждая это, он отвергает важную идею общей теории относительности. С другой стороны, если мы хотим отвергнуть абсолютное движение и сохранить идею об общей относительности, то вся физика должна быть построена на основе более общей геометрии, чем евклидова. Нет возможности избежать этих следствий, если допустимы все системы координат.

Изменения, произведенные общей теорией относительности, не могут ограничиваться одним пространством. В специальной теории относительности у нас были часы, покоящиеся в каждой из систем координат, имеющие одинаковый ритм и синхронизированные, т. е. показывающие одинаковое время в один и тот же момент. Что происходит с часами в инерциальной системе координат? Идеализированный эксперимент с диском снова будет нам полезен. Внешний наблюдатель имеет в своей инерциальной системе совершенные часы, которые все синхронизированы, все имеют одинаковый ритм. Внутренний наблюдатель берет двое часов одинакового сорта и помещает один из них на малую внутреннюю окружность, а другие на большую внешнюю. Часы на внутренней окружности имеют очень небольшую скорость по отношению к внешнему наблюдателю. Поэтому мы можем спокойно заключить, что их ритм будет одинаков с ритмом внешних часов. Но часы на большой окружности имеют значительную скорость, изменяющую их ритм сравнительно с часами внешнего наблюдателя, а стало быть, и сравнительно с часами, помещенными на малой окружности. Таким образом, двое вращающихся часов будут иметь различный ритм, а применяя выводы специальной теории относительности, мы снова видим, что мы не можем во вращающейся системе создать какие-либо

приборы, подобные приборам в инерциальной системе координат. Чтобы выяснить, какие выводы могут быть сделаны из этого и из описанных ранее идеализированных экспериментов, приведем еще раз разговор между старым физиком С, который верит в классическую физику, и новым физиком Н, который признает общую теорию относительности. Пусть С будет внешним наблюдателем в инерциальной системе координат, а Н — наблюдателем на вращающемся диске.

С. В вашей системе эвклидова геометрия несправедлива. Я следил за вашими измерениями и согласен, что отношение длин двух окружностей в вашей системе не равно отношению их радиусов. Но это показывает, что ваша система координат недопустима. А моя система — инерциального характера, и я свободно могу применять эвклидову геометрию. Ваш диск находится в абсолютном движении и с точки зрения классической физики образует недопустимую систему, в которой законы механики несправедливы.

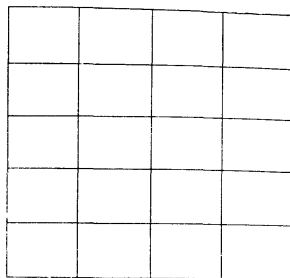


Рис. 74

Н. Я не хочу ничего слышать об абсолютном движении. Моя система так же хороша, как и Ваша. Что я заметил, так это ваше вращение по отношению к моему диску. Никто не может мне запретить отнести все движения к моему диску.

С. Но не чувствовали ли Вы странной силы, стремящейся удалить вас от центра диска? Если бы Ваш диск не был быстро вращающейся каруселью, то Вы не наблюдали бы двух вещей. Вы не заметили бы силы, толкающей Вас к границе диска, и не заметили бы, что эвклидова геометрия неприменима в Вашей системе. Не достаточны ли эти факты, чтобы убедить Вас, что Ваша система находится в абсолютном движении?

Н. Вовсе нет! Я, конечно, заметил оба факта, упомянутые Вами, но я полагаю, что оба они вызываются сильным полем тяготения, действующим на мой диск. Поле тяготения, направленное от центра диска, деформирует мои твердые тела и изменяет ритм моих часов. Поле тяготения, неэвклидова геометрия, часы с различным ритмом — все это кажется мне тесно связанным. Принимая какую-либо систему координат, я должен одновременно предположить наличие соответствующего поля тяготения и его влияние на твердые тела и часы.

С. Но Вы знаете о трудностях, вызванных Вашей общей теорией относительности? Мне хотелось бы сделать свою точку зрения ясной, приведя

простой не физический пример. Представим себе идеализированный американский город, состоящий из параллельных улиц с параллельными проспектами, расположенными перпендикулярно к ним (рис. 74). Расстояния между улицами, а также между проспектами, всюду одно и то же. Поскольку это так, то и кварталы совершенно одинаковы по величине. Таким путем я могу легко характеризовать положение любого квартала. Но это построение было бы невозможно без эвклидовой геометрии. Таким образом, например, мы не можем покрыть всю нашу Землю одним большим идеальным американским городом. Один взгляд на глобус убедит нас в этом.

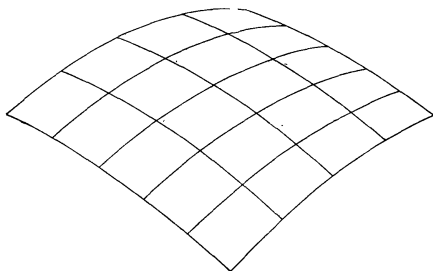


Рис. 75

Но мы не могли бы покрыть и Ваш диск такой «американской городской структурой». Вы утверждаете, что Ваши стержни деформированы гравитационным полем. Тот факт, что Вы не могли подтвердить теорему Эвклида о равенстве отношений радиусов и окружностей, ясно показывает, что если Вы продолжите такое строительство улиц и проспектов достаточно далеко, то рано или поздно Вы придете к трудностям и найдете, что оно невоз-

можно на Вашем диске. Ваша геометрия на вращающемся диске подобна геометрии на кривой поверхности, где, конечно, указанное построение улиц и проспектов на достаточно большой части поверхности невозможно. Для того чтобы пример был более физическим, возьмем пластинку, неравномерно нагретую, с различной температурой в разных частях поверхности. Можете ли Вы с помощью тонких железных прутьев, длина которых увеличивается от нагревания, выполнить «параллельно-перпендикулярное» построение, нарисованное мною? Конечно, нет! Ваше «поле тяготения» разыгрывает над Вашими стержнями ту же шутку, что и изменение температуры над тонкими железными прутьями.

Н. Все это не пугает меня. Построение улиц и проспектов необходимо для того, чтобы определить положения точек, часы — для того, чтобы установить порядок событий. Вовсе не необходимо, чтобы город был американским: с таким же успехом он может быть и древнеевропейским. Представим себе идеализированный город, построенный из пластичного материала и затем деформированный (рис. 75). Я могу все еще различать кварталы и узнать улицы и проспекты, хотя они уже больше не прямые и не равно-

удалены друг от друга. Подобно этому долготы и широты отмечают положения точек на нашей Земле, хотя на ней и нельзя осуществить построения «американского города».

С. Но я вижу еще трудность. Вы вынуждены использовать Вашу «европейскую городскую структуру». Я согласен, что Вы можете установить порядок точек или времени событий, но это построение спутает все измерения расстояний. Оно не даст Вам *метрические свойства* пространства, как это дает мое построение. Возьмем пример. Я знаю, что пройдя в моем американском городе десять кварталов, я дважды покрою расстояние пяти кварталов. Так как я знаю, что все кварталы равны, я сразу же могу определить расстояния.

Н. Это верно. В моей «европейской городской структуре» я не могу сразу же определить расстояния числом деформированных кварталов. Я должен знать нечто большее; я должен знать геометрические свойства моей поверхности. Совершенно так же каждый знает, что расстояние между 0° и 10° долготы на экваторе не равно расстоянию между теми же долготами вблизи Северного полюса. Но всякий штурман знает, как оценить расстояние между двумя такими точками на нашей Земле, ибо он знает ее геометрические свойства. Он может сделать это либо путем подсчета, основываясь на знании сферической тригонометрии, либо экспериментальным путем, проводя свой корабль по обоим путям с одинаковой скоростью. В Вашем случае вся проблема тривиальна, ибо все улицы и проспекты равно отстоят друг от друга. В случае нашей Земли это уже более сложно; два меридиана 0° и 10° пересекаются на земных полюсах и наиболее удалены друг от друга на экваторе. Подобно этому, чтобы определить расстояния, я должен знать в своей «европейской городской структуре» нечто большее, чем Вы в своей «американской городской структуре». Я могу получить эти дополнительные знания изучением геометрических свойств моего континуума в каждом отдельном случае.

С. Все это только показывает, к какому неудобству и сложности приводит потеря простой структуры евклидовой геометрии ради запутанных построений, которые Вы обязаны употреблять. Действительно ли это необходимо?

Н. Боюсь, что да, если мы желаем применять нашу физику в любой системе координат, не прибегая к таинственной инерциальной системе. Я согласен, что мой математический аппарат гораздо сложнее Вашего, но зато мои физические предположения более просты и естественны.

Дискуссия ограничивалась двумерным континуумом. Предмет спора в общей теории относительности еще более сложен, так как там — не двумерный, а четырехмерный пространственно-временной континуум. Но идея та же, что и набросанные здесь для случая двумерного пространства. В общей теории относительности мы не можем применять механических

построений с помощью сети параллельно-перпендикулярных стержней и синхронизированных часов, как в специальной теории относительности. В произвольной системе координат мы не можем определить точку и момент времени, в которые произошло событие, используя твердые стержни и ритмичные синхронизированные часы, как в инерциальной системе координат специальной теории относительности. Мы по-прежнему можем установить порядок событий с помощью наших неевклидовых стержней и часов с различным ритмом. Но действительные измерения, требующие твердых стержней и совершенных ритмичных и синхронизированных часов, могут быть выполнены только в локальной инерциальной системе. Для такой системы справедлива вся специальная теория относительности. Но наша «хорошая» система координат только локальна, ее инерциальный характер ограничен в пространстве и времени. Даже в нашей произвольной системе координат мы можем предвидеть результаты измерений, сделанные в локальной инерциальной системе. Но для этого мы должны знать геометрический характер нашего пространственно-временного континуума.

Наши идеализированные эксперименты показывают только общий характер новой релятивистской физики. Эти эксперименты показывают нам, что основной проблемой является проблема тяготения. Они показывают нам также, что общая теория относительности приводит к дальнейшему обобщению понятий времени и пространства.

Общая теория относительности и ее экспериментальная проверка

Общая теория относительности пытается сформулировать физические законы для всех систем координат. Фундаментальная проблема теории относительности есть проблема тяготения. Теория относительности сделала первое со времени Ньютона серьезное усилие заново сформулировать закон тяготения. Действительно ли это необходимо? Мы уже узнали о достижениях теории Ньютона, об огромном развитии астрономии, основанном на его законе тяготения. Ньютонов закон еще остается основой всех астрономических расчетов. Но мы узнали также о некоторых возражениях против старой теории. Ньютонов закон справедлив только в инерциальной системе координат классической физики, в системе координат, определенной, как мы помним, условием, что в ней должны быть справедливы законы механики. Сила, действующая между двумя массами, зависит от расстояния между ними. Связь между силой и расстоянием, как мы знаем, инвариантна относительно классических преобразований. Но этот закон не укладывается в рамки специальной теории относительности. Расстояние не инвариантно по отношению к преобразованиям Лоренца. Мы могли бы стараться, что мы и делали успешно в отношении законов движения, обоб-

щить закон тяготения, сделать его соответствующим специальной теории относительности или, другими словами, формулировать его так, чтобы он был инвариантным по отношению к преобразованиям Лоренца, а не по отношению к классическим преобразованиям. Но ньютонов закон тяготения упрямо сопротивляется всем нашим усилиям упростить и приспособить его к схеме специальной теории относительности. Даже если бы это и удалось нам, был бы необходим еще дальнейший шаг, шаг от инерциальной системы специальной теории относительности к произвольной системе координат общей теории относительности. С другой стороны, идеализированный эксперимент с падающим лифтом ясно показывает, что нет шансов сформулировать общую теорию относительности без разрешения проблемы тяготения. Из наших рассуждений видно, почему решение проблемы тяготения различно в классической физике и в общей теории относительности.

Мы постарались показать путь, ведущий нас к общей теории относительности, и основания, вынуждающие нас еще раз изменить наши старые взгляды. Не входя в формальную структуру теории, мы охарактеризуем некоторые черты новой теории тяготения для сравнения со старой. Не слишком трудно будет понять природу различий обеих теорий после всего, что было ранее сказано.

1. Гравитационные уравнения общей теории относительности могут быть применены к любой системе координат. Выбрать какую-либо особую систему координат в специальном случае — дело лишь удобства. Теоретически допустимы все системы координат. Игнорируя тяготение, мы автоматически возвращаемся к инерциальной системе специальной теории относительности.

2. Ньютонов закон тяготения связывает движение тела здесь и теперь с действием другого тела в то же самое время на далеком расстоянии. Этот закон стал образцом для всего механистического мировоззрения. Но механистическое мировоззрение потерпело крах. В уравнениях Максвелла мы создали новый образец для законов природы. Уравнения Максвелла суть структурные законы. Они связывают события, которые происходят теперь и здесь, с событиями, которые происходят немного позднее и в непосредственном соседстве. Они суть законы, описывающие электромагнитное поле. Наши новые гравитационные уравнения суть также структурные законы, описывающие изменение поля тяготения. Схематически мы можем сказать: переход от ньютонова закона тяготения к общей теории относительности до некоторой степени аналогичен переходу от теории электрических жидкостей и закона Кулона к теории Максвелла.

3. Наш мир неевклидов. Геометрическая природа его обусловлена массами и их скоростями. Гравитационные уравнения общей теории относительности стремятся раскрыть геометрические свойства нашего мира.

Предположим на минуту, что нам удалось последовательно выполнить программу общей теории относительности. Но не грозит ли нам опасность увлечься рассуждениями, слишком далекими от реальности? Мы знаем, как хорошо старая теория объясняет астрономические наблюдения. Можно ли построить мост между новой теорией и наблюдением? Каждое рассуждение должно проверяться экспериментом, и любые выводы, как бы привлекательны они ни были, должны отбрасываться, если не соответствуют фактам. Как выдержала новая теория тяготения экспериментальную проверку? Ответ на этот вопрос можно дать в следующем предложении: старая теория есть особый предельный случай новой. Если силы тяготения сравнительно слабы, прежний ньютонов закон оказывается хорошим приближением к новым законам тяготения. Таким образом, все наблюдения, подтверждающие классическую теорию, подтверждают и общую теорию относительности. Мы вновь приходим к старой теории от более высокого уровня новой.

Даже если бы нельзя было указать дополнительных наблюдений в пользу новой теории, если бы ее объяснения были лишь столь же хороши, как и объяснения старой теории, предоставляя тем самым свободный выбор между обеими теориями, мы должны были бы отдать предпочтение новой. Уравнения новой теории с формальной точки зрения сложнее, но их предпосылки, с точки зрения основных принципов, гораздо проще. Исчезли два страшных призрака — абсолютное время и иерархическая система. Чрезвычайно важная идея эквивалентности тяжелой и инертной масс не осталась без внимания. Не требуется допущений, касающихся сил тяготения и их зависимости от расстояния. Уравнения тяготения имеют форму структурных законов, форму, которая требуется от всех физических законов со времени великих достижений теории поля.

Из новых гравитационных законов могут быть сделаны и новые выводы, не содержащиеся в законах тяготения Ньютона. Один вывод, а именно: отклонение светового луча в поле тяготения, уже указывался. Приведем еще два других следствия.

Если старые законы вытекают из новых, когда силы тяготения слабы, то отклонения от ньютонова закона тяготения можно ожидать только для сравнительно больших сил тяготения. Возьмем нашу солнечную систему. Планеты, и среди них наша Земля, движутся по эллиптическим орбитам вокруг Солнца. Меркурий — планета, наиболее близкая к Солнцу. Притяжение между Солнцем и Меркурием сильнее, чем между Солнцем и любой другой планетой, так как расстояние его от Солнца меньше. Если имеется какая-либо надежда найти отклонение от закона Ньютона, то наибольший шанс — движение Меркурия. Из классической теории следует; что путь, описываемый Меркурием, того же вида, как и путь любой другой планеты, и отличается лишь тем, что он ближе к Солнцу. Согласно общей

теории относительности движение должно немного отличаться. Не только Меркурий должен обращаться вокруг Солнца, но и эллипс, который он описывает, должен очень медленно обращаться относительно системы координат, связанной с Солнцем (рис. 76). Это обращение эллипса выражает новый эффект общей теории относительности. Новая теория предсказывает величину этого эффекта. Эллипс Меркурия осуществлял бы полный оборот в три миллиона лет! Мы видим, как незначителен этот эффект и как безнадежно было бы искать его в отношении планет, обращающихся на более далеком расстоянии от Солнца.

Отклонение орбиты планеты Меркурий от эллиптической было известно прежде, чем была сформулирована общая теория относительности, но никакого объяснения этому нельзя было найти. С другой стороны, общая теория относительности развивалась независимо от этой специальной проблемы. Заключение об обращении эллипса при движении планеты вокруг Солнца было сделано позднее из новых гравитационных уравнений. Теория успешно объяснила отклонение действительно происходящего движения Меркурия от движения, предписываемого законом Ньютона.

Но существует еще одно заключение, которое было сделано из общей теории относительности и сравнено с опытом. Мы уже видели, что ритм часов, помещенных на большой окружности вращающегося диска, отличается от ритма часов, помещенных на меньшем круге. Аналогично, из теории относительности следует, что ритм часов, помещенных на Солнце, отличался бы от ритма часов, помещенных на Земле, так как влияние поля тяготения гораздо сильнее на Солнце, чем на Земле.

Мы заметили на стр. 420, что натрий, когда он раскален, испускает однородный желтый свет определенной длины волны. В этом излучении один из ритмов атома; атом представляет собой, так сказать, часы, а излученная длина волны — один из его ритмов. Согласно общей теории относительности, длина волны света, излученного атомом натрия, скажем, помещенного на Солнце, должна быть несколько больше, чем длина волны света, излученного атомом натрия на нашей Земле.

Проблема проверки следствий общей теории относительности путем наблюдений сложна и точно никоим образом не решена. Поскольку мы интересуемся принципиальными идеями, мы не хотим входить в этот пред-

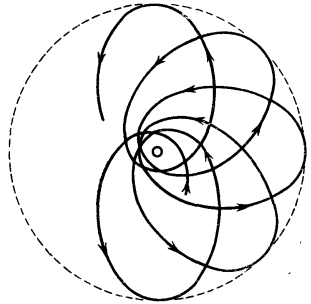


Рис. 76

мет глубже, а только устанавливаем, что пока приговор эксперимента, по-видимому, подтверждает выводы, сделанные из общей теории относительности.

Поле и вещество

Мы видели, как и почему механистическая точка зрения потерпела крах. Невозможно было объяснить все явления, предполагая, что между неизменными частицами действуют простые силы. Первые попытки отойти от механистического взгляда и ввести понятия поля оказались наиболее успешными в области электромагнитных явлений. Были сформулированы структурные законы для электромагнитного поля, — законы, связывающие события, смежные в пространстве и во времени. Эти законы соответствуют характеру специальной теории относительности, так как они инвариантны по отношению к преобразованиям Лоренца. Позднее общая теория относительности сформулировала законы тяготения. Они опять-таки являются структурными законами, описывающими поле тяготения между материальными частицами. Точно так же легко было обобщить уравнения Максвелла так, чтобы их можно было применить к любой системе координат, аналогично законам тяготения общей теории относительности.

Мы имеем две реальности: *вещество* и *поле*. Несомненно, что в настоящее время мы не можем представить себе всю физику построенной на понятии вещества, как это делали физики в начале девятнадцатого столетия. В настоящее время мы принимаем оба понятия. Можем ли мы считать вещество и поле двумя различными, несходными реальностями? Пусть дана маленькая частица вещества; мы могли бы наивно представить себе, что имеется определенная поверхность частицы, за пределами которой ее уже нет, а появляется ее поле тяготения. В нашей картине область, в которой справедливы законы поля, резко отделена от области, в которой находится вещество. Но что является физическим критерием, различающим вещество и поле? Раньше, когда мы не знали теории относительности, мы пытались бы ответить на этот вопрос следующим образом: вещество имеет массу, в то время как поле ее не имеет. Поле представляет энергию, вещество представляет массу. Но мы уже знаем, что такой ответ в свете новых знаний недостаточен. Из теории относительности мы знаем, что вещество представляет собой огромные запасы энергии и что энергия представляет вещество. Мы не можем таким путем провести качественное различие между веществом и полем, так как различие между массой и энергией не качественное. Гораздо большая часть энергии сосредоточена в веществе, но поле, окружающее частицу, также представляет собой энергию, хотя и в несравненно меньшем количестве. Поэтому мы могли бы

сказать: вещество — там, где концентрация энергии велика, поле — там, где концентрация энергии мала. Но если это так, то различие между веществом и полем скорее количественное, чем качественное. Нет смысла рассматривать вещество и поле как два качества, совершенно отличные друг от друга. Мы не можем представить себе резкую границу, разделяющую поле и вещество.

Те же трудности вырастают для заряда и его поля. Кажется невозможным дать ясный качественный критерий, позволяющий провести различие между веществом и полем или зарядом и полем.

Структурные законы, т.е. законы Максвелла и гравитационные законы, нарушаются для очень большой концентрации энергии или, как мы можем сказать, они нарушаются там, где присутствуют источники поля, т.е. электрические заряды или вещество. Но не можем ли мы слегка модифицировать наши уравнения так, чтобы они были справедливы всюду, даже в областях, где энергия колоссально сконцентрирована?

Мы не можем построить физику на основе только одного понятия — вещества. Но деление на вещество и поле, после признания эквивалентности массы и энергии, есть нечто искусственное и неясно определенное. Не можем ли мы отказаться от понятия вещества и построить чистую физику поля? То, что действует на наши чувства в виде вещества, есть на деле огромная концентрация энергии в сравнительно малом пространстве. Мы могли бы рассматривать вещество как такие области в пространстве, где поле чрезвычайно сильно. Таким путем можно было бы прийти к новым представлениям о природе. Их конечная цель состояла бы в объяснении всех событий в природе структурными законами, справедливыми всегда и всюду. С этой точки зрения брошенный камень есть изменяющееся поле, в котором состояния наибольшей интенсивности поля перемещаются в пространстве со скоростью камня. В нашей новой физике не было бы места и для поля, и для вещества, поскольку единственной реальностью было бы поле. Этот новый взгляд внушен огромными достижениями физики поля, успехом в выражении законов электричества, магнетизма, тяготения в форме структурных законов и, наконец, эквивалентностью массы и энергии. Нашей основной задачей было бы модифицировать законы поля таким образом, чтобы они не нарушались для областей, в которых энергия имеет колоссальную концентрацию.

Но до сих пор мы не имели успеха в последовательном и убедительном выполнении этой программы. Заключение о том, возможно ли ее выполнить — принадлежит будущему. В настоящее время во всех наших теоретических построениях мы все еще должны допускать две реальности — поле и вещество.

Фундаментальные проблемы еще стоят перед нами. Мы знаем, что все вещество состоит лишь из частиц немногих видов. Как различные формы

вещества построены из этих элементарных частиц? Как эти элементарные частицы взаимодействуют с полем? Поиски ответа на эти вопросы привели к новым идеям в физике, идеям квантовой теории.

П о д в е д е м и т о г и .

В физике появилось новое понятие, самое важное достижение со времени Ньютона — поле. Потребовалось большое научное воображение, чтобы уяснить себе, что не заряды и не частицы, а поле в пространстве между зарядами и частицами существенно для описания физических явлений. Понятие поля оказывается весьма удачным и приводит к формулированию уравнений Максвелла, описывающих структуру электромагнитного поля, управляющих электрическими, равно как и оптическими явлениями.

Теория относительности возникает из проблемы поля. Противоречия и непоследовательность старых теорий вынуждают нас приписывать новые свойства пространственно-временному континууму, этой арене, на которой разыгрываются все события нашего физического мира.

Теория относительности развивается двумя этапами. Первый этап приводит к так называемой специальной теории относительности, применяемой только к инерциальным системам координат, т. е. к системам, в которых справедлив закон инерции, как он был сформулирован Ньютоном. Специальная теория относительности основывается на двух фундаментальных положениях: физические законы одинаковы во всех системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга; скорость света всегда имеет одно и то же значение. Из этих положений, полностью подтвержденных экспериментом, выведены свойства движущихся масштабов и часов, изменения их длины и ритма, зависящие от скорости. Теория относительности изменяет законы механики. Старые законы несправедливы, если скорость движущейся частицы приближается к скорости света. Новые законы движения тела, сформулированные теорией относительности, блестяще подтверждаются экспериментом. Дальнейшее следствие теории относительности (специальной) есть связь между массой и энергией. Масса — это энергия, а энергия имеет массу. Оба закона сохранения — закон сохранения массы и закон сохранения энергии — объединяются теорией относительности в один закон, в закон сохранения массы-энергии.

Общая теория относительности дает еще более глубокий анализ пространственно-временного континуума. Справедливость теории относительности больше не ограничивается инерциальными системами отсчета. Теория берется за проблему тяготения и формулирует новые структурные законы для поля тяготения. Она заставляет нас проанализировать роль, которую играет геометрия в описании физического мира. Эквивалентность тяжелой и инертной масс она рассматривает как существенный, а не просто случайный факт, каким она была в классической механике.

Экспериментальные следствия общей теории относительности лишь слегка отличаются от следствий классической механики. Они выдерживают экспериментальную проверку всюду, где возможно сравнение. Но сила теории заключается в ее внутренней согласованности и простоте ее основных положений.

Теория относительности подчеркивает важность понятия поля в физике. Но нам еще не удалось сформулировать чистую физику поля. В настоящее время мы должны еще предполагать существование и поля, и вещества.

IV. КВАНТЫ

Непрерывность — прерывность

Перед нами раскрыта карта города Нью-Йорка и окружающей его местности. Мы спрашиваем: какие пункты на этой карте можно достичь поездом? Просмотрев эти пункты в железнодорожном расписании, мы отмечаем их на карте. Затем мы изменяем вопрос и спрашиваем: какие пункты можно достичь автомобилем? Если мы нарисуем на карте линии, представляющие все дороги, начинающиеся в Нью-Йорке, то любой пункт, лежащий на этих дорогах, практически можно достичь автомобилем. В обоих случаях мы имеем ряд точек. В первом случае они отдалены друг от друга и представляют собой различные железнодорожные станции, а во втором они суть точки вдоль шоссе дорог. Следующий наш вопрос — о расстоянии до каждой из этих точек от Нью-Йорка или, для большей точности, от определенного места в этом городе. В первом случае точкам на карте соответствуют определенные числа. Эти числа изменяются нерегулярно, но всегда на конечную величину, скачком. Мы говорим: расстояния от Нью-Йорка до мест, которые можно достичь поездом, изменяются только *прерывно*. Однако расстояния до мест, которые можно достичь автомобилем, могут изменяться как угодно мало, они могут меняться *непрерывно*. Изменения расстояний можно сделать произвольно малыми в случае путешествия автомобилем, а не поездом.

Производство каменноугольных копеек можно изменять непрерывным образом. Количество произведенного угля можно увеличивать или уменьшать произвольно малыми порциями. Но число работающих углекопов можно изменять только прерывно. Было бы чистой бессмыслицей сказать: «Со вчерашнего дня число работающих увеличилось на 3,783».

Человек, которого спросили о количестве денег в его кармане, может назвать не любую, как угодно малую величину, а лишь величину, содер-

жащую только два десятичных знака. Сумма денег может изменяться только скачками, прерывно. В Америке наименьшее возможное изменение или, как мы будем его называть, «элементарный квант» американских денег, есть один цент. Элементарный квант английских денег есть один фартинг, стоящий только половину американского элементарного кванта. Здесь мы имеем пример двух элементарных квантов, величину которых можно сравнивать друг с другом. Отношение их величин имеет определенный смысл, так как стоимость одного из них в два раза превышает стоимость другого.

Мы можем сказать: некоторые величины могут изменяться непрерывно, другие же могут изменяться только прерывно, порциями, которые уже нельзя дальше уменьшать. Эти неделимые порции называются *элементарными квантами* этих величин.

Мы можем взвешивать огромные количества песка и считать его массу непрерывной, хотя его зернистая структура очевидна. Но если бы песок стал очень драгоценным, а употребляемые весы очень чувствительными, мы должны были бы признать факт, что масса песка всегда изменяется на величину, кратную массе одной наименьшей частицы. Масса этой наименьшей частицы была бы нашим элементарным квантом. Из этого примера мы видим, как прерывный характер величины, до тех пор считавшейся непрерывной, обнаруживается благодаря увеличению точности наших измерений.

Если бы мы должны были характеризовать основные идеи квантовой теории в одной фразе, мы могли бы сказать: *следует предположить, что некоторые физические величины, считавшиеся раньше непрерывными, состоят из элементарных квантов.*

Область фактов, охватываемых квантовой теорией, чрезвычайно велика. Эти факты открыты благодаря высокому развитию техники современного эксперимента. Так как мы не можем ни показать, ни описать даже основные эксперименты, мы часто должны будем приводить их результаты догматически. Наша цель — объяснить лишь принципиальные, основные идеи.

Элементарные кванты вещества и электричества

В картине строения вещества, нарисованной кинетической теорией, все элементы построены из молекул. Возьмем простейший пример наиболее легкого химического элемента — водорода. Мы видели (см. стр. 400), как изучение броуновского движения привело к определению массы молекулы водорода. Она равна

0,000 000 000 000 000 000 000 003 г.

Это означает, что масса прерывна. Масса любой порции водорода может изменяться лишь на целое число наименьших порций, каждая из которых соответствует массе одной молекулы водорода. Но химические процессы показали, что молекула водорода может быть разбита на две части или, другими словами, что молекула водорода состоит из двух атомов. В химическом процессе роль элементарного кванта играет атом, а не молекула. Деля указанное выше число на два, мы находим массу атома водорода; она равна приблизительно

0,000 000 000 000 000 000 000 001 7 г.

Масса является величиной прерывной. Но, конечно, нам не следует беспокоиться об этом при обычном определении веса тела. Даже наиболее чувствительные весы далеки от достижения такой степени точности, которая позволяла бы обнаружить прерывное изменение массы тела.

Но вернемся к известному факту. Проводник связан с источником тока. Ток течет по проводнику от высшего потенциала к низшему. Мы помним, что многие экспериментальные факты были объяснены простой теорией электрических жидкостей, текущих по проводнику. Мы помним также (стр. 408), что вопрос о том, положительная ли жидкость течет от высшего потенциала к низшему или же отрицательная жидкость течет от низшего потенциала к высшему, был делом только соглашения. Пренебрежем на минуту всем последующим прогрессом, обязанным понятию поля. Даже если мы будем рассуждать в рамках простой терминологии теории электрических жидкостей, все еще остается ряд вопросов, требующих разрешения. Как указывает само название «жидкость», электричество в прежнее время рассматривалось как непрерывная субстанция. Согласно этим старым взглядам величина заряда могла изменяться произвольно малыми частями. Не было необходимости предполагать наличие элементарных электрических квантов. Достижения кинетической теории материи подготовили нас к новому вопросу: существуют ли элементарные кванты электрических жидкостей? Следующий вопрос, который должен быть поставлен, это вопрос о том, состоит ли электрический ток из потока положительной или отрицательной жидкостей или же представляет собой поток тех и других?

Идея всех экспериментов, которые должны дать ответ на эти вопросы, состоит в том, чтобы выделить электрическую жидкость из проводника, заставить ее проходить через пустое пространство, лишить ее какой-либо связи с веществом, а затем исследовать ее свойства, которые при этих условиях должны обнаруживаться яснее.

Многие эксперименты этого рода были осуществлены в конце девятнадцатого столетия. Прежде чем объяснить идею эксперимента, по крайней мере в одном случае, мы приведем конечные результаты. Электрическая

жидкость, текущая через проводник, отрицательна, и, стало быть, направление ее движения — от низшего потенциала к высшему. Если бы это было известно с самого начала, когда впервые была создана теория электрических жидкостей, мы, конечно, переменили бы термины и назвали бы электричество эбонитовой палочки положительным, а электричество стеклянной палочки отрицательным.

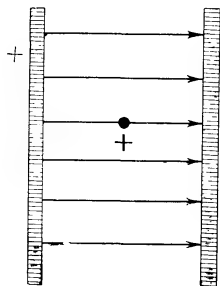


Рис. 77

В таком случае было бы удобнее жидкость, текущую по проводнику, считать положительной. Но так как наше первоначальное предположение было ошибочным, то теперь мы должны нести бремя неудобной терминологии.

Следующий важный вопрос: является ли структура этой отрицательной жидкости «зернистой» или иначе: не состоит ли она из электрических квантов? И снова совокупность независимых друг от друга экспериментов показывает, что нет никакого сомнения в существовании элементарных квантов этого отрицательного электричества. Отрицательная электрическая жидкость состоит из зерен, подобно тому как пляж состоит из отдельных песчинок или как дом построен из отдельных кирпичей. Этот результат

наиболее ясно был сформулирован Дж. Дж. Томсоном около сорока лет назад. Элементарные кванты отрицательного электричества называются *электронами*. Каждый отрицательный электрический заряд состоит из множества элементарных зарядов — электронов. Отрицательный заряд, как и масса, может быть только дискретным. Однако элементарный электрический заряд настолько мал, что во многих исследованиях одинаково возможно, а иногда даже и более удобно, считать его непрерывной величиной. Таким образом, атомная и электронная теории вводят в науку дискретные физические величины, которые могут изменяться только скачками.

Представим себе две параллельные металлические пластинки, помещенные в пространство, из которого весь воздух удален. Одна пластинка заряжена положительно, другая — отрицательно (рис. 77). Пробный положительный заряд, помещенный между двумя пластинками, будет отталкиваться положительно заряженной пластинкой и притягиваться отрицательно заряженной. Таким образом, силовые линии будут направлены от положительно заряженной пластинки к отрицательно заряженной. Сила, действующая на отрицательно заряженное пробное тело, имела бы противоположное направление. Если пластинки достаточно велики, силовые линии между ними будут расположены повсюду одинаково плотно. Независимо от того, где помещается пробное тело, сила, а стало быть,

и плотность силовых линий будут одинаковыми. Электроны, помещенные где-либо между пластинками, вели бы себя подобно дождевым каплям в поле тяготения Земли, двигаясь параллельно друг другу от отрицательно заряженной пластинки к положительно заряженной. Существует много известных экспериментальных способов для создания потока электронов в таком поле, которое всех их направляет в одну сторону. Один из наиболее простых способов — это поместить раскаленную проволоку между заряженными пластинками. Такая раскаленная проволока испускает электроны, которые затем следуют силовым линиям внешнего поля. На этом принципе построены, например, всем известные радиолампы.

С пучком электронов произведено много очень остроумных экспериментов. Исследовано изменение их траектории в различных электрических и магнитных внешних полях. Был даже изолирован отдельный электрон и определены его заряд и масса, т. е. его инерциальное сопротивление действию внешней силы. Здесь мы укажем только на величину массы электрона. Оказалось, что она примерно в *две тысячи раз меньше*, чем масса атома водорода. Таким образом, масса атома водорода, как она ни мала, оказывается большой в сравнении с массой электрона. С точки зрения последовательной теории поля вся масса электрона, т. е. вся его энергия, есть энергия его поля; большая часть энергии поля сосредоточена внутри очень небольшой сферы, а дальше от «центра» электрона поле весьма мало.

Мы говорили раньше, что атом какого-либо элемента является его наименьшим элементарным квантом. В этом были убеждены очень долгое время. Однако теперь так уже не думают! Наука привела к новым представлениям, указывающим пределы старых. Едва ли какое-либо утверждение в физике более твердо обосновано фактами, чем утверждение о сложной структуре атомов. Сначала пришло подтверждение, что электрон — элементарный квант отрицательной электрической жидкости — есть также один из составных элементов атома, один из элементарных кирпичей, из которых построено все вещество. Приведенный раньше пример с раскаленной проволокой, испускающей электроны, есть только один из бесчисленных примеров извлечения этих частиц из вещества. Этот результат, тесно связывающий проблему структуры вещества со структурой электричества, вытекает, вне всякого сомнения, из очень многих независимых экспериментальных фактов.

Извлечь из атома электроны, которые в нем находятся, сравнительно легко. Это можно сделать нагреванием, как в нашем примере с раскаленной проволокой, или другим путем, например бомбардировкой атомов другими электронами.

Представим себе, что тонкая, докрасна раскаленная металлическая проволока помещена в разреженный водород. Проволока будет испускать электроны во всех направлениях. Действием внешнего электрического

поля им будет сообщена определенная скорость. Электрон увеличивает свою скорость подобно камню, падающему в поле тяготения. Этим методом можно получить пучок электронов, движущихся в определенном направлении с определенной скоростью. Подвергая электроны действию очень сильных полей, мы можем в наше время достигнуть скоростей, сравнимых со скоростью света. Что же случится, если пучок электронов с определенной скоростью ударится о молекулы разреженного водорода? Удар достаточно быстрого электрона не только расщепит молекулу водорода на два ее атома, но и вырвет электрон из одного из этих атомов.

Примем как факт, что электроны суть составные части вещества. В таком случае атом, из которого выбит электрон, не может быть электрически нейтральным. Если он раньше был нейтральным, то он не может быть нейтральным теперь, так как он стал беднее одним элементарным зарядом. То, что осталось, должно иметь положительный заряд. Более того, так как масса электрона гораздо меньше массы легчайшего атома, мы с уверенностью можем заключить, что гораздо большая часть массы атома представлена не электронами, а остающимися элементарными частицами, значительно более тяжелыми, чем электроны. Мы называем эту тяжелую часть атома его *ядром*.

Современная экспериментальная физика разработала методы расщепления атомных ядер, превращения атомов одного элемента в атомы другого и вырывания из ядер тяжелых элементарных частиц, из которых ядра состоят. Этот раздел физики, известный под названием физики ядра, развитию которой много содействовал Резерфорд, с экспериментальной точки зрения является наиболее интересным. Но в настоящее время все еще нет простой по своим основным идеям теории, которая объединяла бы богатое разнообразие фактов в области ядерной физики. Так как в этой книге мы интересуемся только общими идеями физики, мы опустим этот раздел, несмотря на его огромную важность в современной физике.

Кванты света

Рассмотрим стенку, построенную вдоль морского берега. Морские волны непрерывно ударяются о стенку, каждый раз что-то смывая с ее поверхности, и отступают, предоставляя свободный путь для приходящих волн. Масса стенки уменьшается, и мы можем спросить, как велика часть, смытая, скажем, за год. А теперь обрисуем другой процесс. Мы хотим уменьшить массу стенки на то же самое количество, как и раньше, но другим путем. Мы стреляем в стенку, разбивая ее в тех местах, куда попадают пули. Масса стенки будет уменьшаться, и мы легко можем представить себе, что в обоих случаях достигается одно и то же уменьшение

массы. Но по виду стенки мы легко могли бы обнаружить, действовали ли на стенку непрерывные морские волны или прерывный ливень пуль. Для понимания явлений, которые мы здесь описываем, полезно учесть это различие между морскими волнами и ливнем пуль.

Мы указывали раньше, что раскаленная проволока испускает электроны. Здесь мы введем другой путь выбивания электронов из металла. Пусть на металлическую поверхность падает однородный свет, например фиолетовый, имеющий, как мы знаем, определенную длину волны. Свет выбивает из металла электроны. Электроны вырываются из металла и ливень их устремляется вперед с определенной скоростью. Основываясь на законе сохранения энергии, мы можем сказать: энергия света частично превращается в кинетическую энергию вырванных электронов. Современная экспериментальная техника позволяет нам подсчитать число этих электронов-снарядов, определить их скорость, а стало быть, их энергию. Это вырывание электронов падающим на металл светом называется *фотоэлектрическим эффектом*.

Мы рассматриваем действие однородной световой волны с некоторой определенной интенсивностью. Как и в каждом эксперименте, мы должны теперь изменять условия эксперимента, чтобы посмотреть, будет ли это иметь какое-либо влияние на рассматриваемый эффект.

Начнем с изменения интенсивности однородного фиолетового света, падающего на металлическую пластинку, и заметим, в какой степени энергия испускаемых электронов зависит от интенсивности света. Попробуем найти ответ с помощью рассуждения, а не эксперимента. Мы могли бы рассуждать так: в фотоэлектрическом эффекте известная определенная порция энергии излучения превращается в энергию движения электронов. Если мы снова осветим металл светом той же длины волны, но от более мощного источника, то энергия испускаемых электронов должна быть больше, так как излучение богаче энергией. Поэтому мы должны ожидать, что скорость испускаемых электронов возрастет, если возрастет интенсивность света. Но эксперимент противоречит нашему предсказанию. Мы еще раз видим, что законы природы не таковы, какими мы хотели бы их видеть. Мы столкнулись с одним из экспериментов, который противоречит нашим предсказаниям и тем самым подрывает теорию, на которой они основывались. С точки зрения волновой теории результат реального эксперимента удивителен. Все наблюдаемые электроны имеют одинаковую скорость, одинаковую энергию, которая не изменяется при возрастании интенсивности света.

Волновая теория не могла предсказать результат эксперимента. Здесь опять новая теория возникает из конфликта старой теории с экспериментом.

Будем намеренно несправедливы к волновой теории света, забывая ее великие достижения, ее блестящее объяснение искривления луча около весь-

ма малых препятствий (дифракция света). Сосредоточив внимание на фотоэлектрическом эффекте, потребуем от волновой теории соответствующего объяснения его. Очевидно, что из волновой теории мы не можем вывести независимость энергии электронов от интенсивности света, которым они извлекаются из металлической пластинки. Поэтому мы испробуем другую теорию. Вспомним, что корпускулярная теория Ньютона, объяснившая многие наблюдаемые явления, потерпела крах при объяснении дифракции света — явления, которым мы сейчас намеренно пренебрегаем. Во времена Ньютона понятия энергии не существовало. По Ньютону, световые корпускулы были невесомы. Каждый цвет сохранял свой собственный субстанциональный характер. Позднее, когда было создано понятие энергии и признано, что свет несет энергию, никто не думал применять эти понятия к корпускулярной теории света. Теория Ньютона умерла, и до нашего века о ее возрождении никто серьезно не помышлял.

Чтобы сохранить принципиальную идею теории Ньютона, мы должны предположить, что однородный свет состоит из зерен энергии, и заменить старые световые корпускулы световыми квантами, т. е. небольшими порциями энергии, несущимися в пустом пространстве со скоростью света. Мы будем называть эти световые кванты *фотонами*. Возрождение теории Ньютона в этой новой форме приводит к *квантовой теории света*. Не только вещество и электрический заряд, но и энергия излучения имеет зернистую структуру, т. е. состоит из световых квантов. Наряду с квантами вещества и квантами электричества существуют также и кванты энергии.

Идея квантов энергии была впервые высказана Планком в начале этого столетия для того, чтобы объяснить некоторые эффекты гораздо более сложного характера чем фотоэлектрический. Но фотоэффект яснее и проще показывает необходимость изменения наших старых понятий.

Сразу ясно, что квантовая теория света дает объяснение фотоэлектрическому эффекту. Поток фотонов падает на металлическую пластинку. Взаимодействие между излучением и веществом состоит здесь из очень многих элементарных процессов, в которых фотон ударяется об атом и выбивает из него электрон. Эти элементарные процессы подобны друг другу, и вырванный электрон будет в каждом случае иметь одинаковую энергию. Нам становится понятным, что увеличение интенсивности света на нашем новом языке означает увеличение числа падающих фотонов. В этом случае из металлической пластинки было бы вырвано большее число электронов, но энергия каждого отдельного электрона не изменилась бы. Итак, мы видим, что эта теория находится в полном согласии с результатами наблюдения.

Что произойдет, если пучок однородного света другого цвета, скажем, красного вместо фиолетового, упадет на металлическую поверхность? Предоставим эксперименту ответить на этот вопрос. Энергию испускаемых

электронов можно измерить и сравнить с энергией электронов, выбиваемых фиолетовым светом. Энергия электронов, выбиваемая красным светом, оказывается меньшей, чем энергия электронов, вырываемых фиолетовым светом. Это означает, что энергия световых квантов различна для лучей различных цветов. Энергия фотонов красного луча вдвое меньше энергии фотонов фиолетового луча. Или, более строго: энергия светового кванта однородного луча уменьшается пропорционально увеличению длины волны. Это — существенное различие между квантом энергии и квантом электричества. Световые кванты различны для каждой длины волны, между тем как кванты электричества всегда одинаковы. Если бы мы захотели применить одну из наших прежних аналогий, мы сравнили бы световой квант с наименьшим квантом денег, который для каждой страны различен.

Продолжим критику волновой теории света и предположим, что структура света зерниста и образована световыми квантами, т. е. фотонами, проносящимися через пространство со скоростью света. Таким образом, в нашей новой картине свет есть ливень фотонов, а фотон есть элементарный квант световой энергии. Однако, если волновая теория отбрасывается, понятие длины волны исчезает. Какое новое понятие занимает его место? Энергия световых квантов! Утверждения, выраженные в терминологии волновой теории, можно перевести в утверждения квантовой теории излучения. Например.

Терминология волновой теории

Однородный свет имеет определенную длину волны. Длина волны красного конца спектра вдвое больше длины волны фиолетового конца.

Терминология квантовой теории

Однородный свет состоит из фотонов определенной энергии. Энергия фотона для красного конца спектра вдвое меньше энергии фотона фиолетового конца.

Положение дел можно подытожить следующим образом: существуют явления, которые можно объяснить только квантовой теорией, а не волновой. Примером такого явления служит фотоэффект; известны и другие примеры того же рода. Существуют явления, которые можно объяснить только волновой теорией, а не квантовой. Типичным примером является дифракция света. Наконец, существуют явления, которые можно одинаково хорошо объяснить как квантовой, так и волновой теориями света, например прямолинейность распространения света.

Но что такое свет в действительности? Волны или поток фотонов? Мы уже задавали раньше аналогичный вопрос: что такое свет — волны или

поток световых корпускул? В то время было полное основание отбросить корпускулярную теорию и принять волновую, объяснявшую все явления. Однако теперь проблема гораздо сложнее. По-видимому, нет никаких шансов последовательно описать световые явления, выбрав только какую-либо одну из двух возможных теорий. Положение таково, что мы должны применять иногда одну теорию, а иногда другую, а время от времени и ту, и другую. Мы встретились с трудностью нового рода. Налицо две противоречивые картины реальности, но ни одна из них в отдельности не объясняет всех световых явлений, а совместно они их объясняют!

Как можно соединить обе эти картины? Как понять обе эти совершенно различные стороны света? Не легко разрешить эту новую трудность. Опять мы встречаемся с фундаментальными проблемами.

Примем сейчас фотонную теорию света и постараемся с ее помощью понять факты, до сих пор объяснявшиеся волновой теорией. Этим самым мы подчеркнем трудности, которые на первый взгляд делают обе теории несовместимыми.

Как мы помним, луч однородного света, проходящий через маленькое отверстие, образует светлые и темные кольца (стр. 429). Как понять это явление с точки зрения квантовой теории света? Пусть фотон проходит через отверстие. Мы могли бы ожидать, что экран должен оказаться светлым, если фотон проходит сквозь отверстие, и темным, если он не проходит. Вместо этого мы обнаруживаем светлые и темные кольца. Мы могли бы попробовать рассуждать следующим образом: возможно, что между краем отверстия и фотоном существует некоторое взаимодействие, которое и служит причиной появления дифракционных колец. Правда, это положение едва ли можно признать за объяснение. В лучшем случае оно намекает программу объяснения, создавая по крайней мере некоторую надежду объяснения дифракции в будущем через взаимодействие вещества и фотонов.

Но даже эта слабая надежда разбивается нашим прежним обсуждением других экспериментальных фактов. Возьмем два маленьких отверстия. Однородный свет, проходя через оба отверстия, образует на экране светлые и темные полосы. Как следует понимать этот эффект с точки зрения квантовой теории света? Мы могли бы рассуждать так: фотон проходит сквозь какое-либо одно из отверстий. Если фотон однородного света представляет собой элементарную световую частицу, мы едва ли можем представить себе, как он может разделиться и пройти сквозь оба отверстия. Но в таком случае эффект должен бы быть совершенно таким же, как и в первом случае: светлые и темные кольца, а не светлые и темные полосы. Почему же наличие второго отверстия совершенно изменяет эффект? Очевидно, отверстие, сквозь которое фотон не проходит, даже если оно находится на большом расстоянии

от другого, изменяет кольца в полосы. Если фотон ведет себя подобно корпускуле в классической физике, он должен пройти только через одно из двух отверстий. Но в этом случае явления дифракции кажутся совершенно непонятными.

Наука вынуждает нас создавать новые понятия, новые теории. Их задача — разрушить стену противоречий, которая часто преграждает дорогу научному прогрессу. Все существенные идеи в науке родились в драматическом конфликте между реальностью и нашими попытками ее понять. Здесь мы снова имеем дело с проблемой, для решения которой нужны новые принципы. Прежде чем мы рассмотрим попытки современной физики объяснить противоречие между квантовым и волновым аспектом света, мы покажем, что те же самые трудности возникают и в том случае, когда мы имеем дело с квантами вещества вместо квантов света.

Оптические спектры

Мы уже знаем, что все вещество состоит из частиц, число разновидностей которых невелико. Электроны были теми элементарными частицами вещества, которые были открыты первыми. Но электроны являются также и элементарными квантами отрицательного электричества. Кроме того, мы узнали, что некоторые явления вынуждают нас предположить, что и свет состоит из элементарных световых квантов, различных для различных длин волн. Прежде чем идти дальше, мы должны рассмотреть некоторые физические явления, в которых наряду с излучением существенную роль играет вещество.

Солнце испускает излучение, которое можно с помощью призмы разложить на составные части. Таким образом, можно получить непрерывный спектр Солнца. Между обоими концами видимого спектра представлена любая из промежуточных длин волн. Возьмем другой пример. Раньше уже было упомянуто, что раскаленный натрий испускает однородный свет, свет одного цвета или одной длины волны. Если раскаленный натрий поместить перед призмой, то мы увидим только одну желтую линию. Вообще же, если излучающее тело поместить перед призмой, то свет, который оно испускает, разбивается на его составные части и дает спектр, характерный лишь для данного излучающего тела.

Разряд электричества в трубке, наполненной газом, создает источник света, подобный тому, какой мы видим в неоновых трубках, употребляемых для световых реклам. Представим себе, что такая трубка помещена перед спектроскопом. Спектроскоп — это прибор, который действует аналогично призме, но с гораздо большей точностью и чувствительностью; он разлагает свет на его компоненты, т. е. он анализирует свет. Сол-

нечный свет, видимый в спектроскопе, дает непрерывный спектр; в нем представлены все длины волн. Однако, если источником света является газ, сквозь который проходит электрический ток, характер спектра будет другой. Вместо непрерывного многоцветного изображения солнечного спектра теперь на непрерывном темном фоне появляются отдельные светлые полосы или линии (рис. 78). Каждая линия, если она достаточно узка, соответствует определенному цвету или, говоря языком волновой теории, определенной длине волны. Например, если в спектре видны

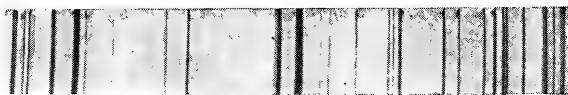


Рис. 78
Спектральные линии
(Фотография А. Шенстона)

двадцать линий, то каждая из них будет обозначаться одним из двадцати чисел, выражающих соответствующие длины волн. Пары различных элементов обладают различными системами линий и, стало быть, различными комбинациями чисел, обозначающих длины волн, из которых состоит излучаемый спектр. Не существует двух таких элементов, которые имели бы идентичные системы линий в характеризующих их спектрах, так же как не существует двух таких людей, у которых были бы совершенно идентичные отпечатки пальцев. По мере того, как физики составляли каталог этих линий, постепенно становилось очевидным наличие законов и стало возможным таблицы чисел — длин волн, которые представлялись никак между собой не связанными, связать единой простой математической формулой.

Все только что сказанное можно перевести на язык фотонов. Линии соответствуют определенной длине волны или, другими словами, фотонам с определенной энергией. Следовательно, светящийся газ испускает фотоны, энергия которых является не какой угодно, а лишь характерной для данного вещества. Действительность опять ограничивает изобилие возможностей.

Атом данного элемента, скажем, водорода, может испускать только фотоны с определенной энергией. Возможно испускание лишь квантов с определенной энергией, испускание же всех других квантов запрещено. Представим себе, простоты ради, что некоторый элемент испускает только одну линию, т. е. фотоны с совершенно определенной энергией. Атом богаче энергией перед излучением и беднее после. Из принципа сохранения

энергии следует, что *уровень энергии* атома выше перед излучением и ниже после и что разность между обоими уровнями должна быть равной энергии излученного фотона. Таким образом, тот факт, что атом определенного элемента испускает излучение лишь одной длины волны, т. е. фотоны лишь определенной энергии, можно выразить еще иначе: в атоме этого элемента возможны лишь два уровня энергии, и излучение фотона соответствует переходу атома с высшего уровня энергии на низший.

Но, как правило, в спектрах элементов оказывается линий больше, чем одна. Излученные фотоны соответствуют многим энергиям, а не только одной. Или, другими словами, мы должны предположить, что в атоме допустимы многие уровни энергии и что испускание фотона соответствует переходу атома с более высокого уровня энергии на более низкий. Но существенно то, что не каждый уровень энергии дозволен, так как в спектре элемента оказывается не любая длина волны, не любой фотон какой угодно энергии. Вместо того, чтобы сказать, что спектру каждого атома принадлежат некоторые определенные линии, некоторые определенные длины волн, мы можем сказать, что каждый атом имеет некоторые определенные энергетические уровни и что испускание светового кванта связано с переходом атома от одного энергетического уровня к другому. Как правило, энергетические уровни не непрерывны, а дискретны. Мы снова видим, что действительность использует не все возможности.

Бор был первым, кто показал, почему именно эти, а не другие линии оказываются в спектрах. Его теория, сформулированная двадцать пять лет назад, нарисовала картину строения атома, из которой, по крайней мере в простых случаях, можно рассчитать спектры элементов и сделать по виду несвязанные скучные числа согласованными, осветив их теорией.

Теория Бора явилась промежуточной ступенью на пути к более глубокой и более общей теории, названной волновой, или квантовой механикой. Мы хотим на этих последних страницах охарактеризовать принципиальные идеи этой теории. Прежде чем это сделать, мы должны еще напомнить теоретический и экспериментальный результат более специального характера.

Наш видимый спектр начинается с фиолетового цвета, соответствующего определенной длине волны, и кончается красным цветом, который также соответствует определенной длине волны. Или, другими словами, энергия фотонов видимого спектра всегда заключена внутри пределов, образованных энергиями фотонов фиолетового и красного света. Это ограничение есть, конечно, только свойство человеческого глаза. Если разность между какими-либо энергетическими уровнями достаточно велика, то испускаться будет фотон *ультрафиолетового света*, давая линию за пределами видимого спектра. Ее наличие нельзя обнаружить невооруженным глазом; необходимо применить фотографическую пластинку.

Рентгеновы лучи тоже состоят из фотонов гораздо большей энергии, чем энергия видимого света, или, другими словами, длина волны рентгеновых лучей гораздо меньше. Она в тысячи раз меньше, чем длина волны видимых лучей.

Но возможно ли определить экспериментально столь малую длину волны? Это довольно трудно было сделать даже для обычного света. Мы должны были иметь малые препятствия или малые отверстия. Два булавочных

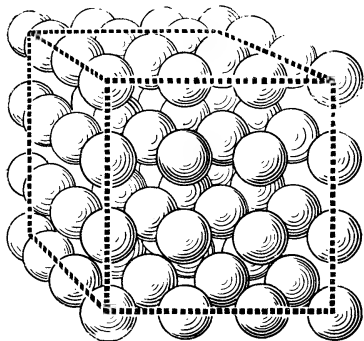


Рис. 79

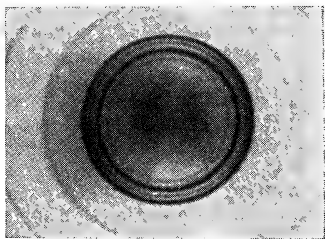


Рис. 80
Дифракция рентгеновых лучей
(Фотография Ластовьевского и Грегора)

отверстия, дающие дифракцию обычного света, очень близко расположены друг к другу; они должны быть в тысячи раз меньше и в тысячи раз плотнее расположены друг к другу, чтобы дать дифракцию рентгеновых лучей.

Как в таком случае можем мы измерить длину волны этих лучей? Сама природа приходит нам на помощь.

Кристалл есть конгломерат атомов, расположенных совершенно правильным образом на очень близких расстояниях друг от друга. Рис. 79 показывает простую модель структуры кристалла. Вместо мелких отверстий здесь имеются крайне малые препятствия, образованные атомами элемента, расположенными очень тесно друг к другу и в абсолютно правильном порядке. Расстояния между атомами, как это найдено теорией, изучающей структуры кристаллов, так малы, что можно было ожидать получения эффекта дифракции рентгеновых лучей. Эксперимент подтвердил, что и в самом деле возможно получить дифракцию рентгеновых лучей с помощью этих тесно упакованных препятствий, расположенных

в исключительно правильной трехмерной решетке, встречающейся в кристалле.

Предположим, что пучок рентгеновых лучей падает на кристалл, а затем, пройдя сквозь него, регистрируется на фотографической пластинке. На пластинке в таком случае обнаруживается дифракционная картина. Чтобы изучить спектры рентгеновых лучей, чтобы из дифракционной картины вывести определенные заключения о длине волны, применялись различные методы. То, что здесь мы рассказали в нескольких словах, заполнило бы целые тома, если бы были изложены все теоретические и экспериментальные подробности. На рис. 80 мы воспроизвели только одну дифракционную картину, полученную одним из разнообразных методов. Мы снова видим темные и светлые кольца, столь характерные для волновой теории. В центре виден след недифрагированного луча. Если бы между источником рентгеновых лучей и фотографической пластинкой не был помещен кристалл, то, кроме этого следа, на пластинке ничего не было бы видно. Из таких фотографий можно подсчитать длины волн рентгеновых спектров, а, с другой стороны, если длина волны известна, можно сделать заключение о структуре кристалла.

Волны материи

Как истолковать тот факт, что в спектрах элементов оказываются лишь определенные характерные длины волн?

В физике часто случалось, что существенный успех был достигнут проведением последовательной аналогии между несвязанными по виду явлениями. В этой книге мы часто видели, как идеи, созданные и развитые в одной ветви науки, были впоследствии успешно применены в другой.

Развитие механистических взглядов и теории поля дает много примеров этого рода. Сравнение разрешенных проблем с проблемами неразрешенными может подсказать новые идеи и пролить новый свет на наши трудности. Легко найти поверхностную аналогию, которая в действительности ничего не выражает. Но вскрыть некоторые общие существенные черты, скрытые под поверхностью внешних различий, создать на этой базе новую удачную теорию — это важная созидательная работа. Развитие так называемой волновой механики, которое началось с работ де Бройля и Шредингера около пятнадцати лет тому назад, является типичным примером достижений успешной теории, полученной путем глубоких и удачных аналогий.

Наш исходный пункт — это классический пример, ничего общего не имеющий с современной физикой. Возьмем в руки конец очень длинной гибкой резиновой трубки или пружины и будем двигать его ритмично

вверх и вниз так, чтобы конец колебался. Тогда, как мы видели из многих других примеров, колебанием создается волна, распространяющаяся по трубке с определенной скоростью (рис. 81). Если мы представим себе бесконечно длинную трубку, то группы волн, однажды отправленные, будут следовать в своем бесконечном путешествии без интерференции.



Рис. 81

Возьмем теперь другой пример. Оба конца той же самой трубки закреплены. Если угодно, можно использовать скрипичную струну. Что происходит теперь, когда на одном конце резиновой трубки или струны создается волна? Волна, как и в предыдущем случае, начнет свое путешествие, но она скоро отразится от другого конца трубки. Теперь мы имеем две волны: одну, созданную колебанием, и другую, созданную отражением; они движутся в противоположных направлениях и интерферируют друг с другом. Нетрудно было бы проследить интерференцию обеих волн и определить характер волны, образующейся из их сложения; она называется *стоячей волной*. Оба слова, «стоячая» и «волна», кажутся противоречащими друг другу; тем не менее их комбинация оправдывается результатом наложения обеих волн.

Простейшим примером стоячей волны является движение струны с двумя закрепленными концами, вверх и вниз, как показано на рис. 82. Это движение есть результат того, что одна волна накладывается на другую, когда обе они проходят в различных направлениях. Характерная черта этого движения состоит в том, что в покое остаются только две конечные точки. Они называются *узлами*. Волна, так сказать, устанавливается между двумя узлами, все точки струны одновременно достигают максимума и минимума своих отклонений.

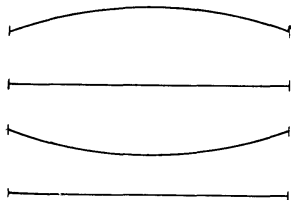


Рис. 82

Но это только простейший вид стоячих волн. Существуют и другие. Например, стоячая волна может иметь и три узла — по одному на каждом конце и один в середине. В этом случае в покое всегда остаются три точки. Из рис. 83 видно, что здесь длина волны вдвое меньше длины волны в примере с двумя узлами. Аналогично стоячие волны могут иметь четыре (рис. 84), пять узлов и более. В каждом случае

длина волны будет зависеть от числа узлов. Это число может быть только целым и может изменяться только скачками. Предложение типа «число узлов в стоячей волне равно 3,576» есть чистая бессмыслица. Таким образом, длина волны может изменяться только прерывно (дискретно).

Здесь, в этой классической проблеме, мы узнаем знакомые черты квантовой теории. Стоячая волна, созданная скрипачом, фактически еще более сложна, будучи смесью очень многих волн с двумя, тремя, четырьмя, пятью узлами и более, а стало быть, смесью различных длин волн. Физика может разложить такую смесь на простые стоячие волны, из которых она составлена.

Или, употребляя нашу прежнюю терминологию, мы можем сказать, что колеблющаяся струна имеет свой спектр, так же как и элемент, испускающий излучение. И так же, как и в случае спектра элемента, здесь разрешены лишь известные длины волн, все же другие запрещены.

Таким образом, мы открыли некоторое подобие между колебанием струны и атомом, испускающим излучение. Странно, как может существовать эта аналогия, но мы все же сделаем из нее дальнейшее заключение и попробуем продолжить сравнение, раз уж мы начали его.

Атом каждого элемента состоит из элементарных частиц: из тяжелых, составляющих ядро, и из легких — электронов. Такая система частиц ведет себя подобно маленькому акустическому инструменту, в котором создаются стоячие волны.

Однако стоячая волна является результатом интерференции двух или более движущихся волн. Если в нашей аналогии есть некоторая доля правды, то распространяющейся волне должна соответствовать еще более

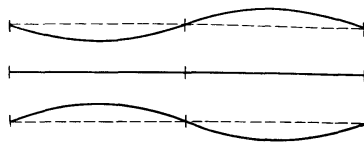


Рис. 83

простая структура, чем структура атома. Что же имеет наиболее простую структуру? В нашем материальном мире ничто не может быть более простым, чем электрон, элементарная частица, на которую не действуют никакие силы, т. е. электрон, покоящийся



Рис. 84

или находящийся в прямолинейном и равномерном движении. Мы могли бы прибавить новое звено в цепи нашей аналогии: движущийся прямолинейно и равномерно электрон → волны определенной длины. Это была новая и смелая идея де Бройля.

Раньше было показано, что имеются как явления, в которых свет обнаруживает свой волновой характер, так и явления, в которых свет обнаруживает свой корпускулярный характер. Уже привыкнув к мысли, что свет есть волна, мы к своему удивлению обнаружили, что в некоторых случаях, например в фотоэлектрическом эффекте, свет ведет себя как поток фотонов. Для электронов мы имеем теперь как раз обратное положение. Мы приучили себя к мысли, что электроны — это частицы, элементарные кванты электричества и вещества. Были найдены их заряд и масса. Но если в идее де Бройля есть какая-либо правда, то должны быть такие явления, в которых вещество обнаруживает свой волновой характер. Этот вывод, полученный благодаря тому, что мы следовали акустической аналогии, кажется вначале странным и непонятным. Как может движущаяся corpuscula иметь что-то общее с волной? Но такого рода трудности мы встречали в физике не раз. Те же проблемы мы встречали и в области световых явлений.

В создании физической теории существеннейшую роль играют фундаментальные идеи. Физические книги полны сложных математических формул. Но началом каждой физической теории являются мысли и идеи, а не формулы. Идеи должны позднее принять математическую форму количественной теории, сделать возможным сравнение с экспериментом. Это можно объяснить на примере той проблемы, с которой мы теперь имеем дело. Главная догадка состоит в том, что равномерно движущийся электрон будет вести себя в некоторых явлениях аналогично волне. Предположим, что электрон или поток электронов — при условии, что все они имеют одинаковую скорость, — движется равномерно. Масса, заряд и скорость каждого индивидуального электрона известны. Если мы хотим каким-нибудь образом связать понятие волны с равномерно движущимся электроном или электронами, то мы должны поставить следующий вопрос: какова длина волны? Это вопрос количественный, и, чтобы получить на него ответ, следует построить более или менее количественную теорию. Правда, это оказалось простым делом. Математическая простота работы де Бройля, дающей ответ на этот вопрос, чрезвычайно удивительна. В то время, когда была написана его работа, математический аппарат других физических теорий был сравнительно утонченным и сложным. Математические операции в задаче, касающейся волн вещества, чрезвычайно просты и элементарны, но ее фундаментальные идеи простираются глубоко и далеко.

Раньше, в случае световых волн и фотонов, было показано, что каждое положение, сформулированное на волновом языке, можно перевести на язык фотонов, или световых корпускул. То же самое справедливо и для электронных волн. Корпускулярный язык для равномерно движущихся электронов уже известен. Но каждое положение, выраженное корпускуляр-

ным языком, можно перевести на волновой язык, как это и было в случае фотонов. Две идеи привели к формулировке правил перевода. Одна идея — это аналогия между световыми волнами и электронными, или между фотонами и электронами. Мы применяем один и тот же метод перевода как для вещества, так и для света. Другую идею дает специальная теория относительности. Законы природы должны быть инвариантными относительно лоренцевых преобразований, а не классических. Обе эти идеи приводят к определению длины волны, соответствующей движущемуся электрону. Из теории следует, что электрон, движущийся, скажем, со скоростью 16000 километров в секунду, имеет длину волны, которую легко можно подсчитать и которая, оказывается, лежит в той же области, что и длина волны рентгеновых лучей. Отсюда мы заключаем далее, что если можно обнаружить волновой характер вещества, то это можно сделать экспериментально таким же путем, каким обнаруживаются волновые свойства рентгеновых лучей.

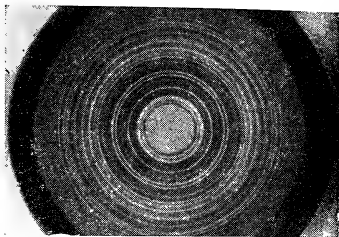


Рис. 85
Дифракция электронных волн
(Фотография Лориа и Клинегера)

Вообразим пучок электронов, движущихся равномерно с заданной скоростью, или, если употреблять волновую терминологию, однородную электронную волну и предположим, что она падает на очень тонкий кристалл, играющий роль дифракционной решетки. Расстояния между дифрагирующими элементами в кристалле настолько малы, что может происходить дифракция рентгеновых лучей. Можно ожидать аналогичный эффект и для электронных волн, имеющих длину волны того же порядка. Фотографическая пластинка должна зарегистрировать эту дифракцию электронных волн, проходящих через тонкий слой кристалла. Эксперимент и в самом деле обнаруживает явление дифракции электронных волн, что, несомненно, является большим достижением теории. Подобие между дифракцией электронных волн и дифракцией рентгеновых лучей особенно заметно из сравнения их фотографий (см. рис. 80 и 85).

Мы знаем, что такая картина позволяет нам определить длину волны рентгеновых лучей. Это остается в силе и для электронных волн. Дифракционная картина дает длину этих волн, а полное количественное согласие теории и эксперимента блестяще подтверждает правильность наших рассуждений.

Эти результаты расширили и углубили наши прежние трудности. Это можно уяснить с помощью примера, аналогичного примеру, использованному для световой волны. Электронный снаряд при очень малом отклонении будет отклоняться подобно световой волне. На фотографической пластинке обнаруживаются светлые и темные кольца. Есть некоторая надежда объяснить эти явления взаимодействием между электроном и краем отверстия, хотя такое объяснение не кажется очень многообещающим. Но что происходит в случае двух отверстий? Вместо колец появляются полосы. Почему же присутствие второго отверстия полностью изменяет эффект? Электрон неделим и может, казалось бы, пройти лишь через одно из двух отверстий. Как мог электрон, проходя через отверстие, знать, что на некотором расстоянии находится другое отверстие?

Раньше мы спрашивали: что такое свет? Является ли он потоком корпускул или волнами? Теперь мы спрашиваем: что такое вещество, что такое электрон? Частица ли он или волна? Электрон ведет себя подобно частице, когда он движется во внешнем электрическом или магнитном поле. Он ведет себя подобно волне, когда дифрагирует, проходя сквозь кристалл. С элементарным квантом вещества мы прошли через те же трудности, которые мы встретили, изучая кванты света.

Одним из наиболее фундаментальных вопросов, поставленных современными успехами науки, является вопрос о том, как согласовать два противоречивых взгляда на вещество и волну. Это одна из тех фундаментальных трудностей, которые, раз уж они сформулированы, должны привести, хотя и длинным путем, к прогрессу науки. Физика старалась разрешить эту проблему. Будущее покажет, является ли решение, предложенное современной физикой, окончательным или же временным.

Волны вероятности

Согласно классической механике, если мы знаем положение и скорость данной материальной точки, а также внешние действующие силы, мы можем предсказать на основе законов механики весь ее будущий путь. В классической механике утверждение: «материальная точка имеет такие-то координаты и скорость в такой-то момент» имеет вполне определенный смысл. Если бы это утверждение потеряло свой смысл, то наши рассуждения (стр. 378) о предсказании будущего пути были бы ошибочны.

В начале девятнадцатого столетия ученые хотели свести всю физику к простым силам, действующим на частицы вещества, обладающие определенными координатами и скоростями в некоторый момент времени. Вспомним, как мы описывали движение, когда рассматривали механику в начале нашего путешествия по царству физических проблем. Мы нарисовали точки вдоль определенного пути, показывающие точные положе-

ния тела в определенные моменты времени, а затем провели векторы, показывающие направления и величины скоростей. Это было просто и убедительно. Но это нельзя повторить для элементарных квантов вещества — для электронов или для квантов энергии — фотонов. Мы не можем нарисовать путешествие фотона или электрона таким же образом, как мы изображали движение в классической механике. Пример с двумя булавочными отверстиями показывает это очень ясно. Кажется, что электрон и фотон должны пройти через оба отверстия. Но так невозможно объяснить эффект, рисуя путь электрона или фотона в старом классическом смысле.

Мы должны, конечно, предположить существование таких элементарных действий, как прохождение электронов или фотонов через отверстия. Существование элементарных квантов вещества и энергии не может, конечно, вызывать сомнения. Ясно, что законы, управляющие ими, не могут быть сформулированы путем определения координат и скоростей в любой момент по простому методу классической механики.

Поэтому попробуем нечто другое. Будем непрерывно повторять одни и те же элементарные процессы. Пусть электроны посылаются один за другим по направлению к двум крошечным отверстиям. Слово «электрон» употребляется здесь ради определенности; наши рассуждения справедливы также и для фотонов.

Один и тот же эксперимент повторяется много раз совершенно одинаковым образом; все электроны имеют одинаковую скорость и движутся в направлении к двум отверстиям. Едва ли нужно напоминать, что это идеализированный эксперимент, который нельзя выполнить в действительности, но который легко можно себе представить. Мы не можем выстреливать отдельные фотоны или электроны в заданные моменты времени, подобно пулям из ружья.

Результатом серии повторенных экспериментов снова должны быть темные и светлые кольца в случае одного отверстия и темные и светлые полосы в случае двух. Но имеется одно существенное отличие. В случае одного отдельного электрона результат эксперимента был непонятен. Его легче понять, когда эксперимент повторяется много раз. Теперь мы можем сказать, что светлые полосы появляются там, где падает много электронов. Полосы становятся темнее в тех местах, в которых падает меньше электронов. Совершенно темное пятно означает, что в это место не попал ни один из электронов. Мы, конечно, не можем считать, что все электроны проходят через одно из отверстий. Если бы это было так, то было бы безразлично, закрыто другое отверстие или нет. Но мы уже знаем, что в том случае, когда второе отверстие закрыто, мы получаем совершенно другой результат. Так как частица неделима, мы не можем представить себе, что она проходит через оба отверстия. Тот факт, что эк-

сперимент был повторен много раз, указывает на другой выход. Некоторые электроны могли пройти через первое отверстие, а другие — через второе.

Мы не знаем, почему каждый отдельный электрон выбирает то или иное отверстие, но конечный результат целой серии экспериментов должен показать, что оба отверстия участвуют в пропуске электронов от источника к экрану. Если мы устанавливаем только то, что происходит с совокупностью электронов, когда эксперимент повторяется, не обращая внимания на поведение индивидуальных частиц, то различие между двумя картинками — дифракционные кольца и дифракционные полосы — становится понятным. Рассмотрение последовательности экспериментов породило новую идею о совокупности, состоящей из индивидуальных, поведение которых нельзя предсказать.

Мы не можем предсказать поведение одного электрона, но мы можем предсказать, что в конечном результате на экране будут появляться светлые и темные полосы.

Оставим на время квантовую физику.

В классической физике мы видели, что если мы знаем координаты и скорость материальной точки в известный момент времени и действующие на нее силы, мы можем предсказать ее будущую траекторию. Мы видели также, как механистическая точка зрения применялась к кинетической теории вещества. Но в этой теории из наших рассуждений возникает новая идея. Для полного понимания последующих доводов полезно обсудить эту идею более подробно.

Пусть имеется сосуд, содержащий газ. При попытке проследить движение каждой частицы нужно было бы начать с нахождения начальных состояний, т. е. начальных координат и скоростей всех частиц. Даже если бы это было возможно, то человеческой жизни не хватило бы только¹ для того, чтобы записать результат на бумаге, так как нужно было бы рассмотреть огромное количество частиц. Если бы мы затем попытались применить известные методы классической механики для подсчета конечных положений частиц, трудности были бы непреодолимы. Принципиально возможно воспользоваться методом, применяемым для рассмотрения движения планет, но практически этот метод бесполезен и должен уступить место *статистическому методу*. Этот метод не требует какого-либо точного знания начальных состояний. Мы меньше знаем о системе в любой данный момент и, следовательно, меньше имеем возможностей сказать что-либо о ее прошлом или будущем. Нам безразлична судьба отдельных частиц газа. Наша задача другого характера. Мы, например, не спрашиваем: «Какова скорость каждой частицы в данный момент?» Но мы спрашиваем: «Сколько частиц имеют скорость между 1000 и 1100 метрами в секунду?» Мы не заботимся об отдельных индивидуумах. То, что мы желаем определить, суть средние значения, характеризующие всю совокуп-

ность. Ясно, что статистический метод имеет смысл лишь тогда, когда система состоит из очень большого числа индивидуумов.

Применяя статистический метод, мы не можем предсказать поведение отдельного индивидуума совокупности. Мы можем только предсказать *вероятность* того, что он будет вести себя некоторым определенным образом. Если наши статистические законы говорят нам, что одна треть частиц имеет скорость между 1000 и 1100 метрами в секунду, то это означает, что, повторяя наблюдения над многими частицами, мы действительно получим в среднем этот результат или, иными словами, это означает, что вероятность нахождения частицы со скоростью внутри этого интервала равна одной трети.

Точно так же знание числа рождений в большом обществе еще не означает знания того, что какая-то отдельная семья осчастливлена рождением ребенка. Это означает лишь знание статистических результатов, в которых вклад отдельных личностей не играет роли.

Наблюдая за номерами большого числа вагонов, мы скоро заметим, что одна треть этих номеров делится на три. Но мы не можем предсказать, будет ли номер вагона, который пройдет в следующий момент, обладать этим свойством или нет. Статистические законы можно применять только к большим совокупностям, но не к отдельным индивидуумам, образующим эти совокупности.

Теперь мы можем вернуться к нашим квантовым проблемам.

Законы квантовой физики суть законы статистического характера. Это означает, что они относятся не к одной индивидуальной системе, а к совокупности идентичных систем; они не могут быть подтверждены измерением, проделанным над отдельным индивидуумом, а подтверждаются лишь серией повторных измерений.

Радиоактивный распад является одним из многих явлений, для которых квантовая физика пытается сформулировать законы, управляющие самопроизвольным превращением одного элемента в другой. Мы знаем, например, что в течение 1600 лет половина грамма радия распадается, а половина остается. Мы можем предсказать, сколько приблизительно атомов распадется в следующие полчаса, но мы не можем сказать даже в нашем теоретическом описании, почему *именно эти* отдельные атомы обречены на гибель. Согласно нашим современным знаниям, мы не имеем средств, чтобы указать, какой из атомов обречен на распад. Судьба атома не зависит от его возраста. Нет ни малейшего следа законов, управляющих их индивидуальным поведением. Можно сформулировать только статистические законы, законы, управляющие большими совокупностями атомов.

Возьмем другой пример. Пусть спектр светящегося газа некоторого элемента, помещенного перед спектроскопом, состоит из линий определенных длин волн. Появление дискретной серии волн определенных длин

является характеристикой атомных явлений, в которых обнаруживается существование элементарных квантов.

Но имеется еще и другая сторона этой проблемы. Некоторые из спектральных линий очень ярки, а другие слабы. Линия ярка, если испускается сравнительно большое число фотонов, относящихся к этой отдельной длине волны; линия слаба, если испускается сравнительно небольшое число фотонов, относящихся к этой длине волны. Утверждения теории опять имеют лишь статистический характер. Каждая линия соответствует переходу с более высокого уровня энергии на более низкий. Теория сообщает нам лишь вероятность каждого из этих возможных переходов, но ничего не говорит о действительном переходе какого-либо индивидуального атома. Теория действует великолепно, потому что во всех этих явлениях участвуют большие совокупности, а не отдельные индивидуумы.

Кажется, что новая квантовая физика имеет некоторое сходство с кинетической теорией материи: обе они — статистического характера и обе относятся к большим совокупностям. Но это не так! В этой аналогии очень важно увидеть не только сходство, но и различие. Сходство между кинетической теорией вещества и квантовой физикой лежит главным образом в их статистическом характере. Но каковы различия?

Если мы хотим знать, сколько мужчин и женщин в возрасте свыше двадцати лет проживает в городе, мы должны дать каждому гражданину заполнить анкету с вопросами: «мужчина», «женщина», «возраст». Предполагая, что каждый ответ правильный, мы можем, подсчитав и распределив ответы, получить результат статистического характера. При этом индивидуальные имена и адреса, указанные в ответе, не будут приняты во внимание. Наш статистический вывод получен на основе ознакомления с каждым отдельным индивидуумом. Подобно этому в кинетической теории материи мы имеем статистические законы, управляющие поведением совокупностей, полученные на основе индивидуальных законов.

Но в квантовой физике положение дел совершенно другое. Здесь статистические законы даны непосредственно. Индивидуальные законы исключены. В примере фотона или электрона, проходящих через два отверстия, мы видели, что мы не можем описать возможное движение элементарных частиц в пространстве и времени так, как мы это делали в классической физике.

Квантовая физика отказывается от индивидуальных законов элементарных частиц и устанавливает непосредственно статистические законы, управляющие совокупностями. На базе квантовой физики невозможно описать положения и скорости элементарной частицы или предсказать ее будущий путь, как это было в классической физике. Квантовая физика имеет дело только с совокупностями, и ее законы суть законы для толпы, а не для индивидуумов.

Железная необходимость, а не фантазия или желание новизны, вынуждает нас изменять старые классические взгляды. Трудности применения старых взглядов были очерчены лишь для одного примера, для дифракционных явлений. Но можно было бы указать и многие другие, одинаково убедительные примеры. Наша попытка понять реальность вынуждала нас к непрерывному изменению взглядов. Но всегда лишь будущему предстоит решить, избрали ли мы единственно возможный выход и было ли найдено наилучшее разрешение всех трудностей.

Мы должны были отказаться от описания индивидуальных случаев, как объективных явлений в пространстве и времени; мы должны были ввести законы статистического характера. Они являются основной характеристикой современной квантовой физики.

Раньше, когда мы указывали на новые физические реальности, на электромагнитное поле и поле тяготения, мы стремились в общих словах описать лишь характерные черты уравнений, посредством которых идеи формулировались математически. То же самое мы сделаем теперь с квантовой физикой, касаясь только очень кратко работ Бора, де Бройля, Шредингера, Гейзенберга, Дирака и Борна.

Рассмотрим случай одного электрона. Электрон может находиться под влиянием произвольного внешнего электромагнитного поля или же быть свободным от всех внешних воздействий. Он может двигаться, например, в поле атомного ядра или может дифрагировать, проходя через кристалл. Квантовая физика учит нас, как формулировать математические уравнения для любой из этих проблем.

Мы уже указывали на аналогию между колеблющейся струной, мембраной барабана, духовым инструментом или любым другим музыкальным инструментом, с одной стороны, и излучающим атомом — с другой. Имеется некоторое сходство и между математическими уравнениями, управляющими акустическими явлениями, и уравнениями, управляющими явлениями квантовой физики. Но опять физическое толкование величин, используемых в этих случаях, совершенно различно. Физические величины, описывающие колеблющуюся струну и излучающий атом, имеют совершенно разный смысл, несмотря на некоторое формальное сходство в уравнениях. В случае струны мы спрашиваем об отклонении произвольной точки от ее нормального положения в произвольный момент времени. Зная форму колеблющейся струны в данный момент, мы знаем все, что нам надо. Отклонение от нормального положения для любого другого момента можно рассчитать из математических уравнений для колеблющейся струны. Тот факт, что некоторое определенное отклонение от нормального положения соответствует каждой точке струны, выражается более строго следующим образом: в любой момент времени отклонение от нормального положения есть *функция* координат струны. Все точки струны образуют

одномерный континуум, и отклонение есть функция, определенная в этом континууме; оно может быть подсчитано из уравнения колебаний струны.

Аналогично, в случае электрона некоторая функция определена в любой точке пространства в любой момент времени. Назовем эту функцию *волной вероятности*. В нашей аналогии волна вероятности соответствует отклонению от нормального положения в акустической задаче. Волна вероятности для данного момента есть функция в трехмерном континууме, в то время как в случае струны отклонение для данного момента времени есть функция в одномерном континууме. Волна вероятности образует каталог наших сведений о квантовой системе и позволяет нам ответить на все разумные вопросы, относящиеся к этой системе. Она не говорит нам о положении и скорости электрона в любой момент времени, ибо такой вопрос не имеет смысла в квантовой физике. Но она говорит нам о вероятности встретить электрон в том или ином месте или говорит нам о том, где мы имеем наибольший шанс встретить электрон. Результат относится не к одному, а ко многим повторяющимся измерениям.

Таким образом, уравнения квантовой физики определяют волну вероятности так же, как уравнения Максвелла определяют электромагнитное поле, а гравитационные уравнения определяют поле тяготения. Законы квантовой физики суть опять-таки структурные законы. Но смысл физических понятий, определяемых этими уравнениями квантовой физики, гораздо более абстрактен, чем в случае электромагнитного поля и поля тяготения; они дают только математическое средство для разрешения вопросов статистического характера.

До сих пор мы рассматривали электрон в некотором внешнем поле. Если бы это был не электрон, наименьший из возможных зарядов, а некоторый заметный заряд, содержащий биллион электронов, мы могли бы отбросить всю квантовую теорию и трактовать задачу согласно нашей старой доквантовой физике. Говоря о токах в проводниках, о заряженных проводниках, об электромагнитных волнах, мы можем применять нашу старую простую физику, содержащуюся в уравнениях Максвелла. Но мы не можем этого делать, когда говорим о фотоэлектрическом эффекте, об интенсивности спектральных линий, радиоактивности, дифракции электронных волн и о многих других явлениях, в которых обнаруживается квантовый характер вещества и энергии. Тогда мы должны, так сказать, идти этажом выше. В то время как в классической физике мы говорили о координатах и скоростях одной частицы, теперь мы должны рассматривать волны вероятности в трехмерном континууме, соответствующие этой задаче об одной частице.

Если мы раньше учились, как толковать задачу с точки зрения классической физики, то квантовая механика дает свой собственный рецепт толкования аналогичной задачи.

Для одной элементарной частицы, электрона или фотона, мы имеем волны вероятности в трехмерном континууме, характеризующие статистическое поведение системы, если эксперименты часто повторяются. Но как дело обстоит в случае не одной, а двух взаимодействующих частиц, например двух электронов, электрона и фотона или электрона и ядра? Мы не можем рассматривать их отдельно и описывать каждый из них с помощью волны вероятности в трех измерениях именно благодаря их взаимодействию. В самом деле, не очень трудно догадаться, как следует описывать в квантовой механике систему, состоящую из двух взаимодействующих частиц. Мы должны спуститься на один этаж, вернуться на минуту к классической физике. Положение двух материальных точек в пространстве в любой момент характеризуется шестью числами, по три для каждой точки. Все возможные положения двух материальных точек образуют шестимерный континуум, а не трехмерный, как это было в случае одной точки. Если мы теперь снова поднимемся на один этаж, к квантовой физике, мы будем иметь волны вероятности в шестимерном, а не в трехмерном континууме, как это было в случае одной частицы. Аналогично этому для трех, четырех и более частиц волны вероятности будут функциями в континууме девяти, двенадцати и более измерений.

Это ясно показывает, что волны вероятности более абстрактны, чем электромагнитное и гравитационное поля, существующие и распространяющиеся в нашем трехмерном пространстве. Континуум многих измерений образует фон для волн вероятности, и только для одной частицы число измерений становится равным числу измерений физического пространства. Единственное физическое значение волны вероятности состоит в том, что она позволяет нам дать ответ на разумные вопросы статистического характера как в случае многих частиц, так и в случае одной. Так, например, в случае одного электрона мы могли бы спросить о вероятности нахождения электрона в некотором определенном месте. Для двух частиц наш вопрос был бы таким: какова вероятность встречи двух частиц в двух данных местах в данный момент времени?

Наш первый отход от классической физики состоял в отказе от описания индивидуальных случаев, как объективных событий в пространстве и времени. Мы были вынуждены использовать статистический метод с его волнами вероятности. Встав однажды на этот путь, мы вынуждены и дальше идти путем абстракций. Необходимо было ввести и волны вероятности во многих измерениях, соответствующие задаче о многих частицах.

Ради краткости назовем все, кроме квантовой физики, физикой классической. Классическая и квантовая физика различаются радикально. Классическая физика видит свою цель в описании объектов, существующих в пространстве, и в формулировке законов, управляющих их изменениями во времени. Но явления, обнаруживающие дискретную и волновую

природу вещества и излучения, несомненный статистический характер таких элементарных явлений, как радиоактивный распад, дифракция, испускание света атомами и многие другие, вынуждают нас отказаться от этого взгляда. Квантовая физика не ставит своей целью описание индивидуальных объектов в пространстве и их изменений во времени. В квантовой физике нет места таким утверждениям, как: «этот объект таков-то, он имеет такое-то свойство». Вместо этого мы имеем утверждения такого рода: «Имеется такая-то вероятность того, что индивидуальный объект таков-то и что он имеет такое-то свойство». В квантовой физике нет места для законов, управляющих изменениями индивидуального объекта во времени. Вместо этого мы имеем законы, управляющие изменениями вероятности во времени. Только это фундаментальное изменение, внесенное в физику квантовой теорией, сделало возможным адекватное объяснение событий, несомненно дискретного и статистического характера, в той области явлений, в которой обнаруживают свое существование элементарные кванты вещества и излучения.

Однако возникают новые, еще более трудные проблемы, пока еще не сформулированные ясно. Мы напомним лишь некоторые из этих нерешенных проблем. Наука не является и никогда не будет являться законченной книгой. Каждый важный успех приносит новые вопросы. Всякое развитие обнаруживает со временем все новые и более глубокие трудности.

Мы уже знаем, что в простом случае одной или многих частиц мы можем перейти от классического к квантовому описанию, от объективного описания событий в пространстве и времени к волнам вероятности. Но мы помним весьма важное понятие поля в классической физике.

Как описать взаимодействие между элементарным квантом вещества и полем? Если для квантового описания десяти частиц необходима волна вероятности в тридцати измерениях, то для квантового описания поля была бы необходима волна вероятности с бесконечным числом измерений. Переход от классического понятия поля к соответствующей проблеме волн вероятности к квантовой физике — это очень трудный шаг. Поднятие на один этаж здесь — нелегкая задача, и все сделанные до сих пор попытки разрешить эту проблему следует считать неудовлетворительными. Имеется и еще одна фундаментальная проблема. Во всех наших рассуждениях о переходе от классической физики к квантовой мы употребляли прежде, дорелятивистское описание, в котором пространство и время трактуются отдельно.

Однако если мы пытаемся начать с классического описания, как оно предлагается теорией относительности, то переход к квантовой задаче оказывается гораздо более сложным. Это вторая проблема, над которой бьется современная физика и которая еще далека от полного и удовлетворительного разрешения. Есть еще другая трудность в создании последовательной

физики тяжелых частиц, составляющих ядро. Несмотря на множество экспериментальных данных и множество попыток бросить свет на проблему ядра, мы еще находимся в неведении относительно некоторых наиболее фундаментальных вопросов в этой области.

Нет сомнения, что квантовая физика объяснила очень богатое разнообразие фактов, достигая в большинстве случаев блестящего согласия между теорией и наблюдением. Новая квантовая физика уведит нас еще дальше от старого механистического воззрения, и отступление к прежнему положению кажется теперь, более чем когда-либо, неправдоподобным. Но нет также никакого сомнения и в том, что квантовая физика все еще должна будет базироваться на двух понятиях — на понятиях вещества и поля. В этом смысле она — дуалистическая теория, которая не приближает ни на один шаг реализацию нашей старой проблемы, сведения всего к понятию поля.

Пойдет ли дальнейшее развитие по линии, избранной в квантовой физике, или же более вероятно то, что в физику будут введены новые революционные идеи? Не сделает ли дорога прогресса вновь крутой поворот, как она часто делала это в прошлом?

За последние несколько лет все трудности квантовой физики сконцентрировались вокруг нескольких принципиальных пунктов. Физика нетерпеливо ожидает их разрешения. Однако невозможно предсказать, когда и где эти трудности будут преодолены.

Физика и реальность

Какие общие выводы можно сделать из развития физики, обрисованного здесь в общих чертах, представляющих лишь наиболее фундаментальные идеи?

Наука вовсе не является коллекцией законов, собранием несвязанных фактов. Она является созданием человеческого разума, с его свободно изобретенными идеями и понятиями. Физические теории стремятся образовать картину реальности и установить ее связь с обширным миром чувственных восприятий. Таким образом, единственное оправдание построений нашего разума состоит в том, образуют ли и каким путем образуют такое звено наши теории.

Мы видели новые реальности, созданные прогрессом физики. Но эту цепь создания можно проследить и позади, далеко за отправной точкой физики. Одним из самых первичных понятий является понятие объекта. Понятия дерева, лошади, любого материального тела — это творения, созданные на основе опыта, хотя восприятия, из которых они возникают, примитивны по сравнению с миром физических явлений. Кошка, терзающая мышь, тоже создает мышлением свою собственную примитивную реаль-

ность. Тот факт, что кошка всегда реагирует одинаковым образом по отношению к любой встречающейся ей мыши, показывает, что она создает понятия и теории, которые руководят ею в ее собственном мире чувственных восприятий.

Понятие «три дерева» есть нечто, отличное от понятия «два дерева». А понятие «два дерева» отлично от понятия «два камня». Понятия отвлеченных чисел 2, 3, 4, ..., свободные от объектов, с которыми они связаны, суть создания мыслящего разума, описывающего реальности нашего мира.

Психологическое субъективное чувство времени позволяет нам упорядочить наши впечатления, установить, что одно событие предшествует другому. Но связать каждый момент времени с числом, рассматривать с помощью часов время как одномерный континуум, это уже изобретение. Таковы же понятия евклидовой и неевклидовой геометрии и наше пространство, понятие как трехмерный континуум.

Физика фактически начинается с введения понятий массы, силы и инерциальной системы. Все эти понятия суть свободные изобретения. Они приводят к формулировке механистической точки зрения.

Для физика начала девятнадцатого столетия реальность нашего внешнего мира состояла из частиц, между которыми действуют простые силы, зависящие только от расстояния. Он старался сохранить, насколько возможно, свою веру в то, что ему удастся объяснить все события в природе с помощью этих основных понятий реальности. Трудности, связанные с отклонением магнитной стрелки, трудности, связанные со структурой эфира, внушили нам мысль создать более уточненную реальность. Появилось важное изобретение — электромагнитное поле. Нужно было смелое научное воображение, чтобы осознать, что не поведение тел, а поведение чего-то находящегося между ними, т. е. поля, может быть существенно для упорядочения событий и для их понимания.

Позднейшее развитие науки разрушило старые понятия и создало новые. Абсолютное время и инерциальная система координат были отброшены теорией относительности. Ареной всех событий были уже не одномерное время и трехмерный пространственный континуум, а четырехмерный пространственно-временной континуум, другое свободное изобретение, с новыми свойствами преобразования. В инерциальной системе больше не было нужды. Любая система координат оказалась одинаково пригодной для описания явлений природы.

Квантовая теория раскрыла новые и существенные черты нашей реальности. Прерывность встала на место непрерывности. Вместо законов, управляющих индивидуальностями, появились вероятностные законы.

Реальность, созданная современной физикой, конечно, далеко ушла от реальности прежних дней. Но цель всякой физической теории по-прежнему одна и та же.

С помощью физических теорий мы пытаемся найти себе путь из лабиринта наблюдаемых фактов, упорядочить и постичь мир наших чувственных восприятий. Мы желаем, чтобы наблюдаемые факты логически следовали из нашего понятия реальности. Без веры в то, что возможно охватить реальность нашими теоретическими построениями, без веры во внутреннюю гармонию нашего мира, не могло бы быть никакой науки. Эта вера есть и всегда останется основным мотивом всякого научного творчества. Во всех наших усилиях, во всякой драматической борьбе между старым и новым мы узнаем вечное стремление к познанию, непоколебимую веру в гармонию нашего мира, постоянно усиливающуюся по мере роста препятствий к познанию.

Подведем итоги.

Богатое разнообразие фактов в области атомных явлений опять вынуждает нас изобретать новые физические понятия. Вещество обладает зернистой структурой; оно состоит из элементарных частиц — элементарных квантов вещества. Зернистую структуру имеет электрический заряд и, — что самое важное с точки зрения квантовой теории, — зернистую структуру имеет и энергия. Фотоны — это кванты энергии, из которых состоит свет.

Является ли свет волной или потоком фотонов? Является ли пучок электронов потоком элементарных частиц или волной?

Эти фундаментальные вопросы навязаны физике экспериментом. В поисках ответа на них мы должны отказаться от описания атомных явлений как явлений в пространстве и времени, мы должны еще дальше отступить от прежнего механистического воззрения. Квантовая физика формулирует законы, управляющие совокупностями, а не индивидуумами. Описываются не свойства, а вероятности, формулируются не законы, раскрывающие будущее системы, а законы, управляющие изменениями во времени вероятностей и относящиеся к большим совокупностям индивидуумов.

Перевод выполнен с 3-го издания 1954 г.

Основное издание «Эволюции физики» вышло в 1938 г. Книга неоднократно переиздавалась и переводилась. Более поздние американские издания выходили в 1942 и 1954 гг. Известны немецкие издания 1958 г. (Берлин), 1961, 1962 и 1965 гг. (Гамбург); французские издания 1938, 1963 и 1964 гг. (Париж); голландское издание 1938 г. (Амстердам). В Советском Союзе книга выходила четыре раза (в 1948, 1961, 1965 и 1966 гг.).

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПИСЬМА К МОРИСУ СОЛОВИНУ*

Берн, пятница
(3 мая 1906 г.)

Дорогой Соловин!

Я часто думаю о Вас. Меня интересует, чем Вы занимаетесь и как проводите время. Теперь же к моему любопытству прибавилось одно небольшое дело, по поводу которого я Вам и пишу.

Несколько дней тому назад адвокат, ведущий дело Патентного бюро, с которым я в свое время говорил о Вас, передал мне один документ и попросил как можно точнее перевести его на французский язык. Разумеется, я не взял бы этот документ, если бы дело не было столь срочным. Я хочу знать, удалось ли Вам добиться более сносного существования. Если же нет, то, как и прежде, у Вас остается шанс найти кое-какую работу в Патентном бюро, а со временем — получить постоянное место. Напишите мне тотчас же, что Вы думаете по этому поводу.

Мы все трое чувствуем себя хорошо. Сын уже вырос и стал большим и наглым парнем. В последнее время мне не удалось достичь особых научных результатов. Я уже подошел к тому устойчивому и бесплодному возрасту, когда революционная направленность умов молодежи вызывает лишь горечь. Мои работы получили высокую оценку и послужат стимулом для последующих исследований. Об этом написал мне профессор Планк из Берлина.

Я переехал на новую квартиру и живу теперь в Кирхенфельде (Эгертенштрассе, 53). После Вашего отъезда мне не с кем поговорить о моей

* *Briefe an Maurice Solovine*. (Faksimile-Wiedergabe von Briefen aus den Jahren 1906 bis 1955 mit französischer Übersetzung, einer Einführung und drei Fotos.) Berlin, 1960. *Lettres a Maurice Solovine* (Reproduites en Facsimile et Traduites en Français), Paris, 1960. [Издание опубликовано во Франции и Германии на двух языках. В настоящее издание не включены короткие записки чисто личного характера. — *Ред.*]

личной жизни. Разговоры с Бессо на домашние темы прекратились; о Габиhte я абсолютно ничего не слышал¹. С огромным удовольствием я узнал от Бессо, что Вы успешно сдали экзамен. Надеюсь, что это позволит Вам хоть немного улучшить материальное положение

С сердечным приветом
Ваш А. Эйнштейн

Напишите мне сразу же, как получите это письмо. Моя жена и Бессо дружески приветствуют Вас.

Берн, четверг
(3 декабря 1908 г.)

Дорогой Соло!

Ваши отговорки весьма изящны, но от этого они ничуть не лучше. По-видимому, бессонные ночи сказываются на нас ничуть не меньше, чем бессонные ночи, проведенные в нашей Академии², о которых я часто вспоминаю с большим удовольствием. Итак, никаких отговорок. Ждем Вашего полного согласия.

С сердечным приветом
Ваш А. Эйнштейн

Берлин, 24 апреля 1920 г.

Дорогой Соловин!

Я очень рад, что Вы хотите писать о моей теории. Сам я собрался написать лишь небольшую брошюрку, которую посылаю Вам вместе с этим письмом. Кроме нее, я написал несколько оригинальных статей. К сожалению, весь тираж их в виде отдельных оттисков уже разошелся. Я рекомендую приобрести для научных библиотек книгу Вейля «Пространство, время, материя» и книгу Шлика «Пространство и время в современной физике» (обе книги выпущены издательством Шпрингера в Берлине) и, кроме

¹ Бессо и Габиht—друзья Эйнштейна (ср. Зелиг. Альберт Эйнштейн. М, 1966).—*Прим. ред.*

² В письме упоминается Олимпийская Академия в Берне — шуточное название кружка, в который входили Габиht, Соловин и Эйнштейн.—*Прим. ред.*

того, томик под заглавием «Принцип относительности», изданный Тойбнером. В последнем (третьем) издании этого томика содержатся наиболее важные оригинальные работы по общей теории относительности. Вашу рукопись я охотно прочту.

Милева чувствует себя хорошо. Я с ней развелся. Дети живут вместе с ней в Цюрихе (Глорияштрассе, 59). Альберт замечательно развит. Младший, к сожалению, часто болеет.

Бессо побродил по всему миру, а теперь снова работает в Патентном бюро в Берне. Пауль Винтелер и моя сестра по-прежнему живут в Люцерне.

Меня радует, что я имел случай снова услышать о Вас. Желаю Вам удачи в Вашем маленьком предприятии.

С наилучшими пожеланиями
А. Эйнштейн

(Без даты и без обращения)

Содержание и метод теории относительности, несмотря на то, что в основу ее положены многочисленные экспериментальные физические факты, можно охарактеризовать в нескольких словах. С древности известно, что движение воспринимается лишь как относительное движение; тем не менее физика была основана на понятии абсолютного движения. Оптика исходила из предположения о том, что в мире имеется некоторое состояние движения, отличающееся от всех остальных, а именно: движение светового эфира. Именно к световому эфиру следует относить все движения материальных тел. Таким образом, световой эфир предстает как воплощение бессодержательного понятия абсолютного покоя. Если бы существовал материальный световой эфир, заполняющий все пространство, то к нему можно было бы относить движения всех материальных тел. Поэтому выражение «абсолютное движение» имело бы физический смысл, и на основе этого понятия можно было бы строить механику. Однако после того, как все попытки обнаружить с помощью физических экспериментов некоторое рыдленное состояние движения, связанное с гипотетическим световым эфиром, окончились неудачей, стало ясно, что задачу нужно поставить наоборот. Именно эта задача и решается последовательно теорией относительности. Эта теория исходит из предположения о том, что в природе не существует никаких физически выделенных движений, и ставит вопрос, какие следствия относительно законов природы можно вывести из этого предположения. Метод теории относительности весьма схож с методом термодинамики, поскольку последние представляет собой не что иное, как последовательный ответ на вопрос: «Какими должны быть законы природы, чтобы нельзя было построить вечный двигатель?»

С гносеологической точки зрения для теории относительности характерно следующее. В физике не существует понятия, применение которого было бы априори необходимым или обоснованным. То или иное понятие приобретает право на существование лишь в том случае, если оно поставлено в ясную и однозначную взаимосвязь с событиями и физическими экспериментами. В теории относительности понятия абсолютной одновременности, абсолютной скорости, абсолютного ускорения и т. д. отвергаются именно потому, что доказана невозможность установления однозначной связи их с экспериментом. Та же судьба постигла и понятий «плоскости», «прямой» и т. д., лежащих в основе евклидовой геометрии. Для каждого физического понятия должно быть дано такое определение, чтобы в любом конкретном случае на основе этого определения можно было бы в принципе сказать, соответствует ли это понятие действительности или нет.

Против концепции пространственно-бесконечного и в пользу концепции пространственно-ограниченного мира можно высказать следующее.

1°. С точки зрения теории относительности условие пространственной замкнутости гораздо проще, чем квазиевклидова структура, соответствующая граничному условию на бесконечности.

2°. Идея Маха о том, что инерция связана с взаимодействием тел, содержится в первом приближении в уравнениях теории относительности. Из этих уравнений следует, что инерция обусловлена, по крайней мере частично, взаимодействием масс. В силу этого идея Маха становится весьма правдоподобной, ибо предположение о том, что инерция обусловлена частично взаимодействием, а частично — независимыми свойствами пространства, является неудовлетворительным. Однако идее Маха соответствует лишь пространственно-замкнутый (конечный), а не квазиевклидов бесконечный мир. Вообще, с гносеологической точки зрения, более удовлетворительным является тот случай, когда механические свойства пространства полностью определяются материей; это происходит лишь при условии, что мир пространственно замкнут.

3°. Бесконечный мир возможен лишь в том случае, если средняя плотность материи в мире равна нулю. Хотя такая гипотеза и является логически возможной, она менее вероятна, чем гипотеза о существовании некоторой средней отличной от нуля плотности материи в мире.

Дорогой Соловин!

Пентикот, 1923 г.

В Японии было чудесно. Деликатные манеры, живой интерес ко всему, чувство изящного, интеллектуальная наивность в сочетании со здравым смыслом, изящный народ в живописной стране. Наши единоплеменники

в Палестине мне очень понравились и как крестьяне, и как рабочие, и как граждане. Земля здесь в целом не очень плодородна. Палестина должна была бы стать моральным центром, но она не может вместить сколько-нибудь значительную часть еврейского народа. С другой стороны, я убежден, что новые поселения будут иметь успех. Я рад, что Ваше путешествие закончилось так благополучно. Надеюсь, нам как-нибудь удастся побеседовать часок-другой на эту тему. Вещи перешлите Куно Кохертхалеру по адресу: Калье Леальтад, Мадрид, а десятую долю оставьте себе в качестве дружеского привета. У меня нет адреса Нордмана; поэтому корректуры я возвращаю Вам. Критика его работы, к сожалению, вполне обоснована. Ему придется многое переделать. Передайте ему мой дружеский привет. Я вышел из состава комиссии Лиги Наций, ибо не верю более в это учреждение. Это вызвало немало злобы, но я все же доволен, что пошел на это. От ложных начинаний следует отказываться даже в том случае, если они носят красивое название. Бергсон в своей книге по теории относительности допустил серьезные ошибки. Бог ему простит.

С искренним приветом
Ваш А. Эйнштейн

30. X. 24

Дорогой Соловин!

По почте Вы получите отдельный выпуск трудов Отделения точных наук¹ и книгу А. М.² Хватит о моей биографии. Я всегда интересовался философией, но для меня она была на втором плане. Мой интерес к естественным наукам ограничивался главным образом изучением основных принципов, и это лучше всего объясняет мое поведение в целом. То, что я опубликовал так мало работ, связано именно с моим настойчивым стремлением понять эти принципы, в результате чего большая часть времени была потрачена на тщетные усилия.

Не думаю, что комиссия Лиги Наций могла как-то улучшить положение. Все же я надеюсь, что в Европе станет лучше.

С сердечным приветом
Ваш А. Эйнштейн

¹ Sitzungsber. preuss. Akad. Wiss. — *Прим. ред.*

² Речь идет, по-видимому, о книге: A. M o s z k o w s k i. Enistein. Eniblicne in senu Gedanuemoelt. Hamlusg — Berlin, 1921. Есть русский перевод: А. М о ш к о в с к и й. Альберт Эйнштейн. Беседы с Эйнштейном о теории относительности и общей системе мира. М., 1922 г. — *Прим. ред.*

4. III. 30

Дорогой Соловин!

Потребовалось некоторое время, прежде чем смог прочесть Вашего Демокрита, поскольку я был очень занят своей собственной работой и меня постоянно отвлекали другие дела. Между прочим, удалось найти старый экземпляр.

Наибольшее удовольствие я получил, читая Ваше введение. Особенно удачным я считаю то место, где говорится о связях Демокрита с его предшественниками. Для меня новым было, по крайней мере, одно: соответствие между абсолютно твердым телом и равномерным движением (атомы и движение). Достойно восхищения и то, как в оригинале рассмотрены различные ощущения. Трогательно видеть, сколько мучений доставляет автору разбор зрительных ощущений, который он проводит, строго придерживаясь своей фундаментальной идеи. Среди афоризмов на тему морали имеется несколько действительно изящных, но много и таких, которые под стать мелкому буржуа (теория морали для стада свиней). Весь перевод в целом кажется мне очень удачным, хотя недостаточное знание французского языка не позволяет мне оценить его должным образом. Достойна восхищения твердая убежденность Демокрита в физической причинности, действующей вопреки воле *homo sapiens*'а. Насколько мне известно, столь решительным и последовательным был только Спиноза.

Моя теория поля имеет хорошие успехи. В этой области успешно работает Картан. Я сам работаю вместе с одним математиком (В. Майером из Вены), замечательным человеком, который уже давно получил бы профессорскую кафедру, не будь он евреем. Я часто вспоминаю о прекрасных днях, проведенных в Париже; хотя моя жизнь здесь протекает относительно спокойно. Сообщите мне, не могу ли я быть Вам хоть чем-нибудь полезен.

Сердечно приветствую Вас,
Ваш А. Эйнштейн

Капут под Потсдамом,
6 июля 1932 г.

Дорогой Соловин!

Посылаю Вам экземпляр договора и от всего сердца благодарю Вас за Ваше письмо. Надеюсь в скором времени написать краткое изложение космологической проблемы.

Я не буду присутствовать на конгрессе в Женеве. Достаточно, что я принимаю участие в работе комитета. За письменным столом я могу при-

нести больше пользы, нежели личным участием, поскольку я плохой оратор.

Сердечно приветствую Вас.
Ваш А. Эйнштейн

Капут под Потсдамом,
6 октября 1932 г.

Дорогой Соловин!

К сожалению, в конце декабря я уже буду в Америке, так что мы не сможем увидеться. Выражение «так называемая» я вставил в заглавие потому, что название «Космологическая проблема» не слишком точно характеризует рассматриваемый предмет.¹ Я считаю, что название нужно изменить на следующее: «О структуре пространства в целом». Надеюсь, что Вы вскоре сумеете вновь обрести свойственную Вам бодрость духа, которая столь прочно основывалась на покорности судьбе.

С сердечным приветом
Ваш А. Эйнштейн

Капут под Потсдамом,
20 ноября 1932 г.

Дорогой Соловин!

Я твердо убежден, что у Вас дело находится в хороших руках и разрешаю Вам решать все вопросы по своему усмотрению. Причитающиеся мне экземпляры перешлите лучше всего первого апреля на мой капутский адрес². В Америке они мне не понадобятся.

Еще раз передайте Ланжевену мою искреннюю благодарность и убедите его как можно скорее ответить на мое письмо. Речь идет об интернациональном объединении ведущих деятелей культуры, прочно стоящих на пацифистских позициях. Такая организация могла бы попытаться оказывать через печать политическое влияние на решение вопросов разоружения, обеспечения безопасности и т. д. Душой этой организации должен был бы стать Ланжевен, поскольку он обладает не только доброй волей, но и отлично разбирается в политике.

С искренним приветом
Ваш А. Эйнштейн

¹ По-видимому, речь идет о статье 111 (т. II), написанной по просьбе Соловина. — *Прим. ред.*

² См. примечание к предыдущему письму. — *Прим. ред.*

Ле Кок под Остенде¹,
23. IV. 33

Дорогой Соло!

Никак не мог выбрать время, чтобы ответить на Ваше письмо, так велик был захлестнувший меня поток писем и людей. Боюсь, как бы эта эпидемия ярости и жестокости не распространилась повсюду. Кажется, будто всё снизу доверху захвачено наводнением, и уровень воды всё, повышается, до тех пор, пока все, что находится наверху, не будут изолированы, запуганы, деморализованы и не захлебнутся в этом потоке. У меня теперь больше профессорских кафедр, чем разумных идей в моем мозгу. Черт бы побрал эти толпы!

Но довольно об этих нелепостях. Может быть, нам еще удастся увидеться хотя бы на часок, когда вокруг меня станет потише.

В ожидании этого с сердечным приветом
А. Эйнштейн

Если увидите евреев-академиков, изгнанных из Германии, помогите им установить связь со мной. Вместе с несколькими друзьями я хотел бы попытаться организовать где-нибудь (в Англии?) университет для еврейских доцентов и профессоров, чтобы хоть немного удовлетворить их насущные потребности и позволить им получить хоть какую-то интеллектуальную атмосферу в изгнании.

Ле Кок, 19 мая 1933 г.

Дорогой Соловин!

Никаких планов насчет Троицы. Послезавтра я должен быть у своего заболевшего сына в Цюрихе, а затем сразу же выехать в Оксфорд (Крайст-чёрч Колледж), где мне придется остаться до 20 июня. Может быть, после этого мне удастся выбраться в Париж по делам Коллеж-де-Франс. В этом случае увидимся в Париже. Если же поездка в Париж отпадет, увидимся здесь, где я намерен провести все лето. Несмотря на все неурядицы и помехи мне вместе с моим ученым другом удалось написать изящную работу, чему я очень рад².

С искренним приветом
(впопыхах)
Ваш А. Эйнштейн

¹ Письмо написано из Бельгии, где Эйнштейн остановился, покидая Германию навсегда.— *Прим. ред.*

² Речь, по-видимому, идет о статье с В. Майером (т. III, статья 73).— *Прим. ред.*

Принстон, 10. IV. 38

Дорогой Соловин!

Я надеюсь, что смогу поручить Вам французский перевод нашей небольшой книжки¹. Инфельд уже пообещал передать издательские права одному французскому издательству (Фламмарин), но мы сохранили за собой право выбора переводчика. Ваш адрес Инфельд уже сообщил издателю. Эта книжка появилась на свет потому, что мне было необходимо оказать Инфельду, оставшемуся без гроша в кармане, временную поддержку. Мы тщательно разработали несколько тем, обращая особое внимание на философскую точку зрения. Если во времена Маха огромный вред наносила господствовавшая тогда точка зрения догматического материализма, то в наши дни преобладают субъективная и позитивистская точка зрения. Сторонники этой точки зрения провозглашают, что рассмотрение природы как объективной реальности — это устаревший предрассудок. Именно это ставят себе в заслугу теоретики, занимающиеся квантовой механикой. Люди так же поддаются дрессировке, как и лошади, и в любую эпоху господствует какая-нибудь одна мода, причем большая часть людей даже не замечает господствующего тирана.

Если бы такое положение наблюдалось только в науке, над этим можно было бы смеяться. Но еще хуже обстоит дело в политической жизни, и здесь уже речь идет о нашем существовании. Наше время страшно тем, что не видно ни единого просвета. С одной стороны — злонамеренность, с другой — безрассудный эгоизм. Ясно, что и в Америке все происходит точно так же, но только позже и медленнее. Этого не избежать. Чтобы не умереть с голоду, нужно быть молодым и подлаживаться под всеобщий стандарт. Правда, меня еще высоко ценят здесь как старый музейный экспонат и как своеобразную диковину, но это хобби уже проходит. Я снова с увлечением работаю вместе с несколькими очень храбрыми молодыми коллегами. Я еще могу мыслить, но работоспособность моя значительно упала. И, наконец: умереть — не так уж плохо.

С сердечным приветом
Ваш А. Эйнштейн

¹ Речь идет о книге «Эволюция физики», французский перевод которой был сделан Соловиным. — *Прим. ред.*

Нассау Пойнт, Пеконик Лонг Айленд, Нью-Йорк,
27 июня 1938 г.

Дорогой Соловин!

Я думаю, что Вам и Вашей матери было бы лучше переменить место жительства, по крайней мере, если принять во внимание соображения, связанные с курсом валюты. Немецкий перевод был выполнен одним нашим скучным коллегой, которому, к сожалению, пришлось из сострадания уступить. Поэтому Вам лучше придерживаться английского текста, как Вы сами и предлагали.

К сожалению, в английском тексте в том месте, где говорится о распространении света, имеется одно неправильное утверждение относительно момента, когда происходит солнечное затмение. Не могу понять, как мой коллега, на которого обычно можно положиться, мог написать такое, и как я мог пропустить это место при чтении. Там утверждается, что в момент, когда мы наблюдаем заход Солнца, на самом деле оно уже восемь минут как зашло. Эта ошибка проистекает из геоцентрического представления, когда используется система координат, вращающаяся вместе с Землей. К сожалению, я не могу сейчас найти это место в книге, но Вы, безусловно, встретите его. Поэтому пока что я не могу сказать, можно ли это утверждение без вреда для дела опустить или же его следует чем-нибудь заменить¹. Мою биографию можете выбросить. Корректуры можете мне не присылать, полностью полагаюсь на вас.

Мне кажется, что название «Эволюция физики» не совсем точно передает существо дела. Честно говоря, я был не вполне согласен с названием, выбранным для английского издания. Немецкое название, на мой взгляд, лучше отвечает действительности, ибо оно выдвигает на передний план психологический, или субъективный, момент². Слово «slew» означает на языке сыщиков решающую улику («след»), который ведет к раскрытию преступления или причинной связи между экспериментально полученными отдельными открытиями. Вы сумеете найти подходящее французское слово. В Европу я не собираюсь. Лето я проведу в каком-нибудь тихом уголке и вообще постараюсь устроиться так, чтобы поменьше иметь дела с людьми. Если кто-нибудь и может понять мое желание, так это Вы.

Вместе с моими молодыми коллегами я работаю над одной крайне интересной теорией, с помощью которой я надеюсь преодолеть теоретико-вероятностную мистику и связанный с ней отход от понятия реальности

¹ Речь идет о месте на стр. 471. — *Прим. ред.*

² Первое немецкое издание называлось «Die Physik als Abenteuer der Erkenntnis» («Физика как приключение познания»); оно вышло в Лейдене. — *Прим. ред.*

в современной физике. Прошу Вас об этом никому не говорить, так как я еще не знаю, удастся ли довести эту работу до конца.

С искренним приветом
Ваш А. Эйнштейн

23 декабря 1938 г.

Дорогой Соловин!

Неудача с французским изданием нашей книги, о которой Вы писали достаточно велика ¹. Но я считаю, что даже и в худших обстоятельствах мы должны оставаться счастливыми, если учесть то, что сейчас происходит по вине людей. Будем же с юмором относиться к неизбежному.

Ужасно, что Франция предала Испанию и Чехословакию. Это будет иметь самые тяжелые последствия.

В процессе своих научных исследований я напал на одну замечательную идею, над которой сейчас с большим энтузиазмом работаю вместе с двумя молодыми коллегами. Есть надежда, что таким путем удастся разбить статистические основы физики, справедливость которых я всегда подвергал сомнению. Наша работа представляет собой обобщение общей теории относительности, обладающее большой логической простотой.

С сердечным приветом
Ваш А. Эйнштейн

Присланные Вами экземпляры прибыли, с ними все в порядке. Бог знает, смогу ли я найти время, чтобы более подробно обдумать постигшее нас несчастье.

9 апреля 1947 г.

Дорогой Соловин!

Мне было бы очень трудно поддерживать свой дух здоровым, если бы я не получал столько пищи для размышлений: ведь Вы написали мне столько подробных дружеских писем. Ваше возвращение было сопряжено со многими приключениями. За время поездки Вы смогли основательно понять, что скрывается за спиной доброго дяди Сэма, и своими глазами увидеть,

¹ Это издание содержало много ошибок. Позже было выпущено новое, исправленное, издание. Ср. письмо от 28.5.56. — *Прим. ред.*

как бесперомонно он обращается с преследуемыми, точнее, с теми, которых преследовали другие. Дядя Сэм тоже делает кое-что в этой области и уже добился замечательных успехов.

Мне уже сообщили о смерти Ланжевена. Он был одним из наиболее дорогих мне людей, подлинно святым и при этом весьма одаренным человеком. По правде сказать, политические деятели пользовались его добротой, ибо он не мог разобраться в столь чуждых ему низменных мотивах.

Достоин удивления, что Франция возрождается так медленно. Я думаю, что в этом сказывается оборотная сторона ее индивидуализма, не позволяющего сплотить воедино общественный дух и проникнуться сознанием ответственности, хотя бы на основе национального тщеславия. Никогда больше не благодарите меня за то небольшое, что удастся Вам послать; Вы ставите меня в очень неловкое положение. Очень признателен Вашему врачу за его благожелательные и, безусловно, компетентные советы, но я должен позаботиться о том, чтобы иметь возможность, не слишком далеко уходя от истины, характеризовать состояние своего здоровья как плохое, так как в этом моя единственная защита. К тому же установлено, что мое недомогание в значительной мере было связано с недостатком питания. Обильное питание позволило мне быстро восстановить силы. С большим интересом прочитал Вашего Эпикура. Во всяком случае он прав, считая, что мораль не должна основываться на вере, т. е. на суеверии. Концепция эвдемонизма в первом приближении также правильна, но я считаю, что она слишком примитивна. Из нее вытекает, что существуют хорошие поступки, как существуют хорошие стихи. Это ясно чувствуется, но понять это до конца, если подходить чисто рационально, невозможно. Если принять это учение, то само ощущение счастья будет иметь под собой весьма шаткую основу, и чем подробнее мы будем рассматривать ее, тем менее ясной она будет. Все же наиболее остроумные люди не раз пытались выяснить, в чем заключается сущность острот и юмора и на чем основано столь сильное их действие. Моя сестра чувствует себя хорошо, но это уже дорога под гору, по которой никто не идет назад. Она сдала, пожалуй, несколько больше, чем это обычно бывает в ее годы. По вечерам я читаю ей «Киропедию» Ксенофона, произведение очень ценное. Так правильно и безыскусственно подходить к жизни могли только греки. Хорошо, что Вы пригласили мадам Франсуа. К ней вполне применимо прекрасное высказывание Гейне: «Если бы дождь шел из дукатов, они могли бы пробить голову». Мне и Страусу много мучений доставляет проверка (или опровержение) моих уравнений, но мы еще далеки от того, чтобы преодолеть математические трудности. Это трудное дело, и за него не взялся бы ни один настоящий математик. Что касается книги, то я убежден, что ее исправление Вам вполне удалось. Я не знаю, в каком именно месте делается бессмысленное утверждение о солнечном

затмении. Читатель очень обрадуется, натолкнувшись на этот ляпсус, — для чего же лишать себя удовольствия (Эпикур)? Вообще, учитывал ли Эпикур злорадство? Согласно его взглядам, злорадство явно следует рассматривать как нечто положительное, если при этом людям не наносится никакого ущерба (т. е. если речь идет только о поддразнивании). Я понимаю, что Вам хотелось бы иметь английское издание «Эволюции физики». Посылать Вам ее не стоит из-за содержащихся в ней глупых ошибок. Быть может, в последнем английском издании их не будет.

Всего наилучшего Вам обоим!

Ваш А. Эйнштейн

26 августа 1947 г.

Дорогой Соловин!

Я чувствую себя очень хорошо (иногда чуточку лучше, иногда — хуже). Состояние Майи также удовлетворительно, насколько позволяють нынешние обстоятельства. Чтение Вашего Эпикура доставило мне много радости. В том, что он со своей этикой в основном прав, вряд ли можно сомневаться. Все же мне кажется, что он не исчерпал этот предмет, ибо ценности, которые он считает положительными, до некоторой степени несоизмеримы и их нельзя непосредственно складывать или вычитать. Предположим, например, будто мы убеждены в том, что сумма счастья у муравьев выше, чем у людей. Было бы с точки зрения этики справедливым, если бы люди уступили место муравьям? Как бы то ни было, прошу не сердиться ни на меня, ни на мое упрямство. Можете быть уверены, что мы очень напоминаем друг друга и пылкостью, и флегматичностью.

Своей основной проблемой я занимаюсь непрестанно, но без особого успеха.

Сердечный привет от всех нас Вам и Вашей жене

Ваш А. Эйнштейн

Дорогой Соло!

Господь Бог, кажется, с полным равнодушием отнесся ко всем Вашим обвинениям, но все же, как Вы увидите из этого письма, кое-что сделал. По-видимому, он следует изречению министерского чиновника: «Не существует дел, которые уже были бы настолько срочными, чтобы не смогли стать еще более срочными, если отложить их на некоторое время в сторону».

О Вас рассказал мой друг Лове. Из его рассказа отчетливо видно, что во Франции отношения между упомянутым выше богом и некоторыми «спекулянтами» складываются неважно. Тем более следует признать, что против «нашей» политики выступают для того, чтобы снова поставить у власти в Германии нацистов и с их помощью защитить себя от злых русских. Трудно поверить, что и столь тяжкие испытания мало чему научили людей. Чтобы побудить Адамара к действию, я направил ему телеграмму следующего содержания, в которой выразил свою поддержку тем, кто выступает против этой политики: *Вторая мировая война не была бы развязана, если бы мы прислушались к мнению дальновидного Клемансо*; надеюсь, что интеллигенты все же сумеют добиться чего-нибудь.

У нас все идет хорошо. Боли у сестры прекратились, но если подходить объективно, то она продолжает сдавать. Я теперь каждый вечер читаю ей. Например, сегодня я читал ей любопытные аргументы, которые Птолемей выдвинул против мнения Аристарха о том, что Земля вращается вокруг собственной оси и движется вокруг Солнца. При этом я невольно подумал о некоторых аргументах современных физиков: высокоученых и изысканных, но лишенных интуиции.

Что касается моей научной деятельности, то в настоящее время, хотя у меня и появился сотрудник, молодой, очень способный математик, я никак не могу преодолеть все те же математические трудности, которые не позволяют подтвердить или опровергнуть мою общую релятивистскую теорию поля. Мне не удастся довести задачу до конца; придется ее оставить до тех пор, пока, спустя много времени, она не будет открыта заново. Так было уже со многими проблемами.

Среди произведений, которые я по вечерам читаю сестре, были и некоторые философские труды Аристотеля. Откровенно говоря, я был разочарован. Не будь они столь туманными и запутанными, образчики философии такого рода не смогли бы просуществовать так долго. Но большинство людей испытывает священный трепет именно перед теми словами, которые не доступны их пониманию, и считает поверхностным того автора, которого они могут понять. Трогательное проявление скромности.

В отношении к нашему небольшому еврейскому народу англичане проявляют своеобразную скарденность, во что я никогда не мог бы поверить. Но их внутренней политике следует отдать должное. Быть может, только им удастся покончить с отжившим свой век капитализмом без революции. Откровенно говоря, они находятся в более тяжелом положении, чем Франция, не знающая ни перенаселенности, ни необходимости импорта продуктов.

В течение последних месяцев у нас был сын Конрада Габихта, очень милый и здоровый мальчик. Он тоже стал математиком. Я имел случай еще раз услышать о стариках. Как хорошо было в Берне, когда мы соби-

рались на заседания нашей веселой «Академии», которая была менее детской, чем те респектабельные Академии, с которыми мне довелось познакомиться позднее.

В этом и состоит преимущество старости, что на все человеческое она позволяет смотреть из прекрасного далека. Для этого Вы лишь не должны быть слишком старым!

Сердечный привет и пожелания от Вашего

А. Эйнштейна

Лидо Бич, Сарасота, Флорида,
22 февраля 1949 г.

Дорогой Соловин!

Упомянутая Вами переписка со школьницей из Южной Африки не имеет ни малейшего отношения к Вашим планам. Эту девочку больше всего поразило то, что я не умер 300 лет тому назад (она спутала меня с Ньютоном).

Во Флориду я приехал на три недели. Осталось еще четыре дня. Мне сделали без достаточных к тому оснований полостную операцию. Я уже поправился. Операция была бесполезной, ибо кое-какие спайки удалось удалить. Все же я чувствую еще слабость, впрочем в этом возрасте ничего иного нельзя и ожидать.

Сердечный привет Вам и Вашей супруге.

Ваш А. Эйнштейн

28.III.49

Дорогой Соловин!

Очень тронут Вашим сердечным письмом. Оно резко выделяется среди бесчисленных писем, полученных мной в связи с этим печальным событием¹. Вы думаете, что я с чувством полного удовлетворения смотрю на дело всей моей жизни. Вблизи же все выглядит иначе. Нет ни одного понятия, относительно которого я был бы уверен, что оно останется неизблемым. Я даже не уверен, что нахожусь на правильном пути вообще. Современники же видят во мне еретика и реакционера, который, так сказать, пережил самого себя. Все это, конечно, вопрос моды и объясняется их недомыслием, но чувство неудовлетворенности поднимается во мне и изнутри. Впрочем,

¹ Семидесятилетием.— *Прим. ред.*

иначе и быть не может, если ты критически относишься к себе, честен, а чувство юмора и скромность позволяют сохранять внутреннее равновесие, несмотря на все внешние воздействия.

Бог знает, как верно то, что Вы говорили об экспериментах, проводимых над людьми; но каждый поступает так, как он поступает, и не может поступить иначе, наиболее мучительны те социальные процессы, которые разыгрались сейчас в гигантских масштабах.

Лучшее, что нам осталось,— это несколько верных друзей, у которых на месте и голова, и сердце и которые понимают друг друга так, как понимаем друг друга мы с Вами.

Хотелось бы узнать, что Вам удалось собрать о Гераклите. Мне кажется, что это был упрямый и мрачный человек. Очень часто на выдающиеся личности бывает можно смотреть лишь сквозь завесу густого тумана.

С наилучшими пожеланиями Вам и Вашей супруге.

Ваш А. Эйнштейн

Дорогой Соловин!

25.I.50

Я отправил Вам довольно толстый том, в котором Вы, вероятно, найдете несколько интересных для себя статей и сможете прочитать о моих небольших разногласиях с коллегами-физиками. В скором времени я вышлю Вам новое издание моей книжки с приложением, которая на протяжении уже нескольких недель вызывает страшный шум в печати, хотя никто, кроме переводчика, ее не видел¹. Вот уж поистине смешно: заранее увенчивать лаврами! Кроме того, через несколько недель я вышлю Вам небольшую брошюру, в которой собраны статьи, написанные по самым различным поводам. Жду, когда она выйдет из печати. В ней Вы найдете любопытную переписку с русскими академиками.

Надеюсь, жизнь в Париже мало-помалу становится все более сносной и для тех, кто не занимается спекуляцией, и что вы — ты и твоя жена — живете хорошо. Что касается нашей жизни, то она вполне удовлетворительна.

С искренним приветом
Ваш А. Эйнштейн

¹ В письме речь идет о сборнике «Albert Einstein: Philosoph — Scientist» и заключительной статье Эйнштейна (статья 77). Далее в нем упоминается о 3-м издании «Сущности теории относительности» [в примечании к статье 60 (т. II) ошибочно указано, что оно вышло в 1945 г.] и о сб. «Out of My Later Years», N. Y., 1950.— *Прим. ред.*

12 июня 1950 г.

Дорогой Соловин!

Вместе с этим письмом Вы получите мое согласие, которое я направил в издательство Готье-Виллар. Было бы лучше, если бы Приложение вышло в свет в том виде, какой оно имеет в подготовляемом в настоящее время к печати четвертом издании лекций¹. В этом издании несколько улучшена обобщенная теория гравитации и исправлены некоторые ошибки в рассуждениях.

С предложенным Вами названием «*Out of My later Years*» я согласен. Если Вы еще не получили ни одного экземпляра этой книги, пожалуйста, напишите мне, я Вам вышлю.

В вопросе о статистике против детерминизма дело обстоит следующим образом. С точки зрения непосредственного опыта никакого детерминизма в точном смысле этого слова не существует. По этому поводу единодушное полное. Вопрос состоит в том, должно ли быть детерминистическим или нет описание природы. Отсюда, в частности, вытекает вопрос о том, существует ли вообще (в каждом отдельном случае) такое мысленное отражение действительности, которое принципиально полно и не зависит от статистики. Мнения расходятся именно по этому вопросу.

С сердечным приветом
Ваш А. Эйнштейн

10 июля 1950 г.

Дорогой Соловин!

Получил Ваше письмо от 30 июня. Я полностью согласен со всеми Вашими предложениями. Что же касается дела со спектральными линиями, то все объясняется очень просто: я вовсе не собирался публиковать свои заметки, и издатель также не имел на этот счет никаких намерений. Любопытно знать, насколько могут отличаться наши мнения по вопросу о религии. Не могу себе представить, чтобы они могли сколько-нибудь значительно разойтись. Если же наши мнения все же не совпадают, то это, по-видимому, связано с тем, что я недостаточно точно выразил свою мысль.

Я сам чувствую себя вполне удовлетворительно, но моя сестра сильно сдала. Впрочем, особых страданий это ей не доставляет.

¹ Т. е. в том, как она напечатана в настоящем издании (т. II, статья 141).— *Прим. ред.*

Следующее издание Приложения все еще задерживается в связи с тем, что я никак не мог найти вполне удовлетворительное доказательство непротиворечивости новых уравнений поля. Именно с этим и связана задержка.

С сердечным приветом
Ваш А. Эйнштейн

1 января 1951 г.

Дорогой Соловин!

Очень признателен Вам за Ваше подробное письмо от 7 декабря. Отвечаю на Ваш вопрос.

Милитаризация Германии началась уже вскоре после 1848 г., с того времени, как возросло влияние Пруссии. Я полагаю, что милитаризация Германии длится по крайней мере лет сто.

По поводу заключительной части статьи о Кеплере¹. Следующее замечание должно привлечь внимание читателя на одно обстоятельство, представляющее интерес с психологической и исторической точек зрения. Хотя Кеплер и отвергал астрологию в том виде, какой она имела в его время, он тем не менее высказывал мысль о том, что вполне возможна иная, рациональная, астрология. В этом нет ничего необыкновенного, ибо одухотворение причинных связей, в том виде, в каком оно характерно для первобытных людей, не является бессмысленным само по себе, а лишь постепенно, под давлением накопленных фактов, вытесняется наукой. Исследования Кеплера, разумеется, значительно способствовали этому процессу. В душе самого Кеплера этот процесс привел к жестокой внутренней борьбе.

Мне вполне понятно Ваше упорное нежелание пользоваться словом «религия» в тех случаях, когда речь идет о некотором эмоционально-психическом складе, наиболее отчетливо проявившемся у Спинозы. Однако я не могу найти выражения лучше, чем «религия», для обозначения веры в рациональную природу реальности², по крайней мере той ее части, которая доступна человеческому сознанию. Там, где отсутствует это чувство, наука вырождается в бесплодную эмпирию. Какого черта мне беспокоиться, что попы наживают капитал, играя на этом чувстве? Ведь беда от этого не слишком велика.

Не могу согласиться с Вашей критикой науки и морали, т. е. тех целей, которые ставит перед собой наука. То, что мы называем наукой, преследует

¹ См. статью 37.— *Прим. ред.*

² См. статью 39.— *Прим. ред.*

одну единственную цель: установление того, что существует на самом деле. Определение того, что должно быть, представляет собой задачу, в известной степени независимую от первой; если действовать последовательно, то вторая цель вообще недостижима. Наука может лишь устанавливать логическую взаимосвязь между моральными сентенциями и давать средства для достижения моральных целей, однако само указание цели находится вне науки. По крайней мере, таково мое мнение. Если же Вы со мной не согласны, я со всей почтительностью буду вынужден задать один вопрос: чьи бессмыслицы должны быть в этой книге — мои или Ваши?¹

С сердечным приветом и наилучшими пожеланиями на 1951 г.

Ваш Эйнштейн

12 февраля 1951 г.

Дорогой Соловин!

Слово «ограниченный» в немецком тексте я употребил в смысле «не слишком распространенный».

С обоими издателями дело обстоит неважно, поскольку у Фламариона имеется договор (я по своей небрежности упустил его из виду, так как в то время этими делами ведал мой друг и сотрудник Инфельд), из которого нельзя понять, в какой мере фирма Фламарион сохраняет права на эту книгу. Я очень надеюсь, что Вам заплатят за перевод, отмеченный столькими трудностями. Если это произойдет, то, откровенно говоря, меня не очень будет волновать вопрос о выходе этой книги. Пусть издательства сами решают его².

Болезнь моей сестры, разумеется, прогрессировала за это время; правда, самочувствие ее не ухудшилось. Свое состояние я считаю удовлетворительным, если, разумеется, принять во внимание возраст: следует сказать, что семья, из которой я происхожу, долголетием не отличается.

Единая теория поля теперь завершена. Однако применения ее наталкиваются на такие математические трудности, что я, несмотря на все усилия, еще не в состоянии ее хоть сколько-нибудь проверить. Это состояние будет длиться еще долгие годы главным образом из-за отсутствия у физиков должного понимания логико-философских аргументов.

С сердечным приветом
Ваш А. Эйнштейн

¹ Речь идет об издании книги «Out of My Later Years». — *Прим. ред.*

² Книгу «Эволюция физики» издали во Франции два издательства: Payot и Flammarion. — *Прим. ред.*

23 марта 1951 г.

Дорогой Соловин!

От всего сердца благодарю Вас за Ваше дружеское письмо и книгу Ламеттри¹ с Вашим интересным предисловием. Трудно представить себе, что в XVIII веке образованные люди считали эту книгу революционной. Каждый вечер я читаю сестре отрывки из этой книги. Вы бы посмеялись, услышав мои заикающиеся французские звуки. Что удивляет при чтении, так это цветистый стиль рококо, столь разительно контрастирующий с трезвым духом нашего времени.

Я иногда думаю о том, как Соло оценивает неумелые действия политиков в международных отношениях. Наши точки зрения, по-видимому, сильно отличаются, ибо каждый склонен принимать близко к сердцу лишь то, что происходит в непосредственной близости от него.

У нас все хорошо, но сестра за это время ослабела еще больше. Она не может отчетливо произнести почти ни слова, хотя мыслит еще вполне здраво.

С сердечным приветом
Ваш А. Эйнштейн

29 марта 1951 г.

Дорогой Соловин!

Посылаю Вам вместе с этим письмом корректуру. Свои замечания я записал на немецком языке; если что-нибудь будет непонятно, спросите у меня. Замечу, что и после исправлений Приложение, посвященное обобщенной теории гравитации, понимается с большим трудом. Гораздо важнее то, чтобы оно было понятно, чем то, чтобы оно вышло как можно раньше.

История с пакетами очень огорчает меня. Невольно вспоминается шиллеровский «Перстень Поликрата». Разузнайте, обложены ли так называемые заказные пакеты такой же высокой пошпиной. Всей этой благодарностью мы обязаны Трумену и его помощникам.

После того, как Вам заплатят за перевод, об этой книге можете не заботиться. У меня нет ни малейшей иллюзии в отношении того, будто с ее помощью можно что-то в этом мире изменить к лучшему, и мне все равно, произойдет ли это позже или не произойдет вообще. Во всяком случае

¹ Julien Offroy de La Mettrie (1709—1751) — врач и философ-материалист.
Прим. ред.

вмешиваться я не собираюсь. Если же дело дойдет до публикации, то нам еще придется поломать голову из-за иллюстраций.

С уравнением Шредингера все в порядке. Функция ϵ зависит только от q и p , но полученная из нее ψ -функция Шредингера зависит еще и от t .

Книга Ламеттри написана интересно, хотя изобилует цветистыми выражениями в стиле рококо и производит поэтому странное впечатление. Я всю ее прочитал своей сестре. Трудно поверить, что эта книга так волновала своих современников.

Сердечный привет от нас всем
Ваш А. Эйнштейн

30 июля 1951 г.

Дорогой Соловин!

Получил Вашу милую открытку от 16 июля. Эти две незначительных опечатки — сущие пустяки по сравнению со всей той чертовщиной, которой подвергаются люди.

Должен сообщить Вам печальную весть, что моя дорогая сестра уже четыре недели назад умерла спокойной смертью, избавившись от своих ужасных страданий. Внезапное осложнение атеросклероза мозга, которое само по себе не имело бы тяжелых последствий, как происшедший столь сложный перелом правого плеча. Возникшая в связи с этим необходимость в абсолютной неподвижности привела к воспалению легких с высокой температурой и потерей сознания; десять дней спустя наступила смерть. До этого несчастного случая я каждый вечер читал ей, так как ее душевное состояние — не говоря уже о памяти — не пострадало. Я уверен в том, что об этой доброй душе у Вас останутся самые дружеские воспоминания.

Мучаемся добросовестно, но капризный бог Спинозы сделал нашу жизнь еще более тяжелой, чем это представлялось нашим предкам.

С сердечным приветом
Ваш А. Эйнштейн

30.III.52.

Дорогой Соловин!

Ваше последнее письмо, как всегда, очень меня обрадовало. С предложенными Вами изменениями я полностью согласен.

Что касается Карла Зелига¹, то он честный человек. К сожалению, к своей задаче он относится излишне серьезно и докучает ею всему миру. Вы можете говорить с ним о чем угодно и обходить молчанием все, что сочтете нужным. Нехорошо лишь, скажем нейтрально, представлять перед публикой в голом виде. Что нужно делать, решите сами и мне не сообщайте, поскольку я не хочу даже косвенным образом вмешиваться в это предпринятие. Правда, на некоторые вопросы по существу я ему ответил.

Перехожу теперь к наиболее интересной части Вашего письма. Вы находите удивительным, что я говорю о познаваемости мира (в той мере, в какой мы имеем право говорить о таковой) как о чуде или о вечной загадке. Ну что же, априори следует ожидать хаотического мира, который невозможно познать с помощью мышления. Можно (или должно) было бы лишь ожидать, что этот мир лишь в той мере подчинен закону, в какой мы можем упорядочить его своим разумом. Это было бы упорядочивание, подобное алфавитному упорядочению слов какого-нибудь языка. Напротив, упорядочение, вносимое, например, ньютоновской теорией гравитации, носит совсем иной характер. Хотя аксиомы этой теории и созданы человеком, успех этого предприятия предполагает существование упорядоченности объективного мира, ожидать которую априори у нас нет никаких оснований. В этом и состоит «чудо», и чем дальше развиваются наши знания, тем волшебнее оно становится.

Позитивисты и профессиональные атеисты видят в этом уязвимое место, ибо они чувствуют себя счастливыми от сознания, что им не только удалось с успехом изгнать бога из этого мира, но и «лишить этот мир чудес». Любопытно, что мы должны довольствоваться признанием «чуда», ибо законных путей, чтобы выйти из положения, у нас нет. Я должен это особенно подчеркнуть, чтобы Вы не подумали, будто я, ослабев к старости, стал жертвой попов.

У нас все чувствуют себя хорошо, даже Марго, которая после операции уже значительно окрепла. Мне удалось сделать важное дополнение к несимметричной теории поля. Оно позволяет априори получать общие уравнения поля, как обычный принцип относительности позволяет получать уравнения гравитации.

Сердечный привет Вам обоим
Ваш А. Эйнштейн

В Европу я больше не вернусь, чтобы не быть бесполезным свидетелем комедии обезьян. Кроме того, обстановка в настоящее время стала для всех настолько невыносимой, что нет необходимости еще куда-то ездить.

¹ Речь идет о авторе книги об Эйнштейне (русский перевод: К. З е л и г. Альберт Эйнштейн. М., 1966).— *Прим. ред.*

7.5.52.

Дорогой Соло!

В своем письме Вы обвиняете меня в двух грехах. Во-первых, в некритическом отношении к проекту всемирного правительства. И все же Вы сами рассматриваете этот проект не как *нежелательный*, а как *нереальный*, если говорить о ближайшем будущем. Вы приводите веские доводы, свидетельствующие о невыполнимости этого проекта. С равным основанием Вы могли бы высказать опасение и по поводу того, что всемирное правительство было бы столь же невыносимым и столь же несправедливым, как и существующее ныне состояние анархии. Можно было бы напомнить и о тех «благоденствиях», которые ООН оказала корейскому народу. Но, с другой стороны, существует опасность полного самоуничтожения человечества, которую нельзя сбрасывать со счета. Вот почему мы не должны (хотя и с некоторыми колебаниями) считать этот проект «нежелательным».

Что же касается его «неосуществимости», то по этому поводу можно сказать следующее: он станет «реальным», если люди *всерьез захотят* этого, хотя бы из-за того, что нельзя жить и дальше в обстановке невыносимой неуверенности в завтрашнем дне. Необходимо из всех сил стремиться к тому, чтобы у людей возникло такое желание. Подобные усилия были бы полезны и в том случае, если бы цель и не была достигнута, ибо они оказали бы благотворное воспитательное воздействие, направленное против тупого и пагубного национализма.

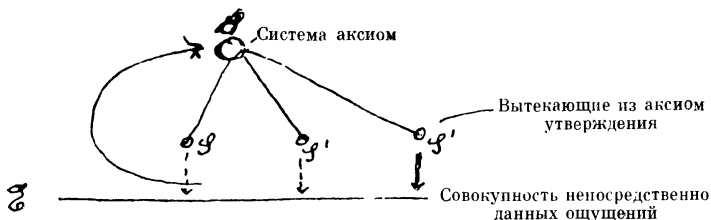
Вы говорите, что воспитание юношества необходимо начинать с объективного изучения исторических событий. Лишь в этом случае можно было бы надеяться на то, что удастся добиться каких-то перемен в области политики. Но вопрос о том, какое из этих мероприятий следует считать первым, — это вопрос о том, что было раньше: яйцо или курица. Иначе говоря, наши рассуждения содержат порочный круг. Курица — это политический строй, яйцо — это рационально построенное образование. Поскольку мы никак не можем ухватить ту нить, которая позволила бы распутать весь этот клубок, необходимо испробовать все попытки и не терять мужества.

Если же все усилия не приведут ни к чему и люди все же уничтожат друг друга, то Вселенная не прольет над ними ни единой слезы. Было бы хорошо, если бы наша книга, по крайней мере, появилась в продаже до этого.

Что же касается гносеологических вопросов, то Вы меня совершенно не поняли. По-видимому, я плохо объяснил свою точку зрения. Схематически эти вопросы я представляю себе так.

(1) Нам даны *E* — непосредственные данные нашего чувственного опыта.

(2) A — это аксиомы, из которых мы выводим заключения. Психологически A основаны на E . Но никакого логического пути, ведущего от E к A , не существует. Существует лишь интуитивная (психологическая) связь, которая постоянно «возобновляется».



(3) Из аксиом A логически выводятся частные утверждения S , которые могут претендовать на строгость.

(4) Утверждения S сопоставляются с E (проверка опытом).

Строго говоря, эта процедура относится к внелогической (интуитивной) сфере, ибо отношение понятий, содержащихся в S , к непосредственным данным чувственного опыта E по своей природе нелогично. Но это отношение между S и E (с прагматической точки зрения) гораздо менее неопределенно, чем отношение между A и E (например, понятие «собака» и соответствующие ему непосредственные данные чувственного опыта). Если бы это отношение нельзя было установить с высокой степенью достоверности (хотя сделать это чисто логическим путем невозможно), то весь аппарат логики не имел бы никакого значения для «познания действительности» (например, теология).

Квинтэссенцией всего этого является извечная проблема соотношения между миром идей и ощущений (чувственных восприятий).

Мою работу, предназначенную для юбилейного издания в честь де Бройля, переведет на французский язык один из французских коллег¹. Но ее содержание для многих будет казаться наихудшей разновидностью ереси. Эту работу я смогу послать Вам лишь после того, как она выйдет из печати.

У нас все обстоит хорошо, но моя работоспособность заметно понизилась. Может быть, это и к лучшему.

Искренне Ваш А. Э.

¹ См. статью 79, т. III.— *Прим ред.*

Зелиг кажется мне приятным человеком. Я сужу целиком по его поступкам, поскольку лично с ним не знаком.

Бессмертной Академии «Олимпия»¹

В течение всего своего непродолжительного активного существования ты с детской радостью наслаждалась всем, что было ясно и разумно. Твои члены создали тебя для того, чтобы посмеяться над твоими более важными, старыми и чванливыми сестрами. Насколько им это удалось, я вполне могу судить по собственным тщательным и многолетним наблюдениям.

Мы, все три твоих члена, оказались долговечными. Хотя сейчас мы уже немного одряхтели, но твой чистый и живительный свет все еще сияет для нас и служит нам путеводной звездой, ибо ты нисколько не постарела и не поникла, как выросший среди бурьяна росток салата.

До последнего высокоученого вздоха я останусь верным и преданным тебе! Твой ныне всего лишь член-корреспондент

А. Эйнштейн

3. IV. 53
Принстон

23 апреля 1953 г.

Дорогой Соловин!

Прежде всего я хочу поблагодарить Вас за Ваш высокаторжественный ответ на мое послание Академии. Этот ответ мог бы стать красой и гордостью двора Фридриха II.

У меня не будет никаких возражений, если издательство Готье-Вилляр объединит в одном томике все три упомянутые публикации. Не имею я ничего и против публикации небольшой популярной книжки. Посылаю Вам свой единственный экземпляр оригинального немецкого издания (с просьбой вернуть при удобном случае). Во-вторых, посылаю Вам от-тиск последнего, в котором сделаны кое-какие дополнения, и, в-третьих, копию приложения, написанного мной для выходящего в скором времени английского издания и его первоначальный немецкий текст. Эти материалы я также прошу вернуть мне при удобном случае после того, как Вы закончите перевод.

¹ См. прим. на стр. 548.— *Прим. ред.*

Как обычно, я получил много удовольствия, читая критику в газетах. Очень тронут, что Вы прислали мне Ваши собственные выписки. В одной статье содержалось забавное утверждение о том, что чувство одиночества свойственно не старости, а юности.

С сердечным приветом
Ваш А. Эйнштейн

28.5.53

Дорогой Соло!

Как ни смешно, но мы были вынуждены послать Вам печально дефектный экземпляр моей старой книжки. У меня вообще не осталось ни одного экземпляра, и поэтому я никак не могу оценить Ваши исправления. Жаль, что Вы предлагаете мне разрушить ту лестницу, которая позволила бы детям подняться до уровня профессиональных ученых. Для меня это было бы привлекательным зрелищем. Не могу согласиться и с Вашим замечанием относительно шеста на площади. Для меня речь идет о том, чтобы заменить абстрактное и туманное «пространство» *по возможности наиболее прямым и простым способом* (твердое тело) чем-то, имеющим смысл с точки зрения эксперимента. Поэтому не следует использовать также и оптические приборы.

Строго говоря, геометрию нельзя свести к «абсолютно твердым» телам, ибо абсолютно твердых тел в точном смысле слова не существует, даже если не принимать во внимание, что абсолютно твердые тела нельзя считать бесконечно делимыми. Столь же необоснованным является и предположение о том, что тела, используемые в качестве единиц измерения, не влияют на объект измерения (такому предположению нельзя придать строгий смысл). Понятия никогда нельзя логически вывести из опыта безупречным образом. Но для дидактических, а также эвристических целей такая процедура неизбежна. Мораль: если не согрешить против логики, то вообще нельзя ни к чему прийти. Иначе говоря, нельзя построить ни дом, ни мост, не используя при этом леса, которые не являются частью всей конструкции.

Я пришло Вам новое издание моей книги «Сущность теории относительности»¹, в которой обобщенная теория гравитации изложена в новой редакции. Разумеется, эта работа представляет собой попытку создания единой теории поля, но мне не хотелось бы выпускать книгу под столь претенциозным заголовком, поскольку я не знаю, содержится ли в моей теории физическая истина.

¹ Речь идет о 4-м издании этой книги. См. статью 141, т. II.— *Прим. ред.*

С точки зрения дедуктивной теории ее можно считать совершенной (экономия независимых понятий и гипотез). По поводу того, насколько эта теория отвечает или не отвечает действительности, нельзя утверждать решительно ничего, ибо мы не располагаем методами, которые позволили бы нам что-либо утверждать о решениях столь сложной системы нелинейных уравнений, не содержащих особенностей, или найти эти решения. Именно по этой причине физики не принимают всерьез все эти вещи. Возможно, что такие методы никогда не будут известны. С другой стороны, теории, которые постепенно приспосабливаются к наблюдаемым данным, приводят к страшному накоплению разрозненных утверждений.

В своей последней популярной книге де Бройль очень хорошо охарактеризовал эту ситуацию.

Недавно я получил ее английское издание. Французское издание несомненно лучше.

С сердечным приветом
Ваш А. Э.

15 августа 1953 г.

Дорогой Соловин!

Кажется, я забыл среди общего потока корреспонденции ответить на Ваше письмо от 15 июня. На Ваш первый вопрос я могу ответить, что в системе, движущейся с ускорением, нельзя так интерпретировать координаты, чтобы разности координат были равны соответственно разностям длин и продолжительности временного интервала, измеренным с помощью масштабных стержней и часов. Это легко понять в тех случаях, когда система координат находится в равноускоренном поступательном движении относительно некоторой инерциальной системы или же вращается относительно нее с постоянной скоростью. С этим связано и то, что, согласно общей теории относительности, гравитационное поле является одновременно и выражением структуры пространства-времени.

Если условие Римана «выполнено», то должны «выполняться» и гравитационные уравнения. Иначе говоря, уравнения гравитационного поля являются частным случаем условия Римана.

Немецкий оригинал работы Вы можете получить в любое время. Я, разумеется, полностью согласен с внесенными Вами редакционными изменениями.

Мне кажется, что Вы не только мой переводчик, но и мой единственный по-настоящему внимательный читатель.

С искренним приветом Ваш
А. Эйнштейн

Р. С. Рад, что французский народ в лице своих наиболее выдающихся умов не упустил случая показать, на чьей стороне бог (забастовка).

14 октября 1953 г.

Дорогой Соловин!

Браво! Очень признателен Вам за Ваше храброе выступление в защиту моего кошелька. Теперь Вы можете сказать вместе с Цезарем: Пришел, увидел, победил!

Отвечаю на Ваш первый вопрос. Выражение «disparait», мне кажется, точно передает смысл слова «пропадает». Другие выражения «не годится», «не подходит» противоречат смыслу. Выражение «невозможно» было бы недостаточно ясно, нужно было бы сказать по крайней мере «невозможно более». Выражение «пропадает», мне кажется, лучше.

Ваше замечание по поводу понятия «физическое содержание», которое Вы довольно точно перевели как «Contenu physique», я считаю правильным. Вопрос заключается лишь в том, чтобы более точный вариант текста не затруднял, а облегчал понимание сути дела. С одной стороны, в евклидовой геометрии речь идет о примитивных опытах со стержнями, шнурами и световыми лучами. С другой стороны, соответствие между названными предметами и геометрическими понятиями носит лишь приближенный характер. Именно поэтому я отказался от упрощения в упомянутом Вами месте. Компенсируется ли эта неточность теми дидактическими преимуществами, на которые Вы указываете? Мне кажется, что да, но тут возможны различные мнения.

На Ваш вопрос могу ответить, что чувствую себя, если принять во внимание мой возраст, хорошо. Марго тоже, если учесть ее врожденное невезение. Фрейлен Дюкас чувствует себя хорошо без всяких оговорок.

Я надеюсь, что и Вы оба здоровы.

С сердечным приветом
Ваш А. Эйнштейн

27.II.55

Дорогой Соловин!

То преувеличенное значение, которое в настоящее время часто придают делу моей жизни, имеет и свои приятные стороны. Например, в распоряжении «Комитета по оказанию помощи ученым-эмигрантам» оказалась

некоторая сумма денег, на расходование которой не распространяются обычные ограничения, установленные для подобных фондов. Этой суммой я могу распоряжаться по своему усмотрению. Я знаю, что Вы страдаете распространенной в нашем возрасте болезнью глаз, значительно снижающей Вашу работоспособность. Эту болезнь можно излечить с помощью часто практикуемой операции. Я не могу представить себе лучшего способа израсходовать эти деньги, чем предложить их такому человеку, как Вы, который поседел в непрестанном умственном труде, с тем, чтобы сохранить Вашу работоспособность.

Напишите мне поэтому тотчас же, какой порядок платежей Вы считаете наиболее удобным: единовременная выплата всей суммы или периодические выплаты через равномерные промежутки времени, и прежде всего без всякого стеснения, какая сумма Вам реально необходима. Деньги можно будет перевести в Париж через дочерний институт здешнего комитета, так что для Вас это не будет сопряжено ни с какими трудностями.

Я только что преодолел довольно тяжелую анемию, от которой меня избавило медицинское искусство. Колеса снова кое-как крутятся, только мозг слегка заржавел. Нельзя не признать, что дьявол добросовестно ведет счет годам.

Все же мне удалось внести существенное усовершенствование в обобщенную теорию гравитационного поля (теорию несимметричного поля), хотя из-за математических трудностей я еще не сумел провести сопоставление упрощенных уравнений с опытными фактами¹.

Сердечный привет Вам и Вашей супруге

Ваш А. Эйнштейн

В настоящем издании не приведены записки от 15. VIII 1908; 18. III 1909; 8, 16, 19. III 1921; 14. I 1922; 14. 22. III 1922; 20. IV 1922; 26. VII 1922; 26. VIII 1924; 8. XI 1929; 28. XII 1929; 29. IX 1932; 29. VIII 1946; 5. X 1946; 17. XI 1952.

¹ Это то, что опубликовано в последней работе Эйнштейна. См. статью 146, т. II.—
Прим. ред.

ОСНОВНЫЕ ДАТЫ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ А. ЭЙНШТЕЙНА

Родился 14 марта 1879 г. в Ульме (Германия)

1895, октябрь — 1896, сентябрь. Ученик кантональной школы в кантоне Аарау (Швейцария). Диплом об окончании выдан 3 октября 1896 г.

1896, октябрь — 1900, август. Студент Федерального политехникума в Цюрихе (Швейцария), Диплом об окончании выдан 2 августа 1900 г.

1901, 21 февраля. Получение швейцарского гражданства

1902, 23 июня — 1909, 15 октября. Технический инспектор по патентным заявкам в Швейцарском патентном бюро в Берне

1906, Защищена докторская диссертация в Университете в Цюрихе (см. том III, статья 6). Диплом выдан 15 января 1906 г.

1909, 15 октября — 1911, 15 апреля. Профессор теоретической физики в Университете в Цюрихе

1911, апрель — 1912, август. Профессор теоретической физики Немецкого университета в Праге (тогда Австро-Венгрия)

1912, октябрь — 1914, апрель. Профессор теоретической физики Федерального политехникума в Цюрихе

1914, апрель — 1933, март. Член Прусской Академии наук в Берлине

1933, октябрь — 1955, апрель. Член Института высших исследований в Принстоне (США)

1955, 18 апреля. 1 ч. 25 м. умер в Принстоне



Альберт с сестрой Майей



Цюрих, 1895 г.



«Академия Олимпия» в Берне
(К. Габихт, М. Соловин, А. Эйнштейн)



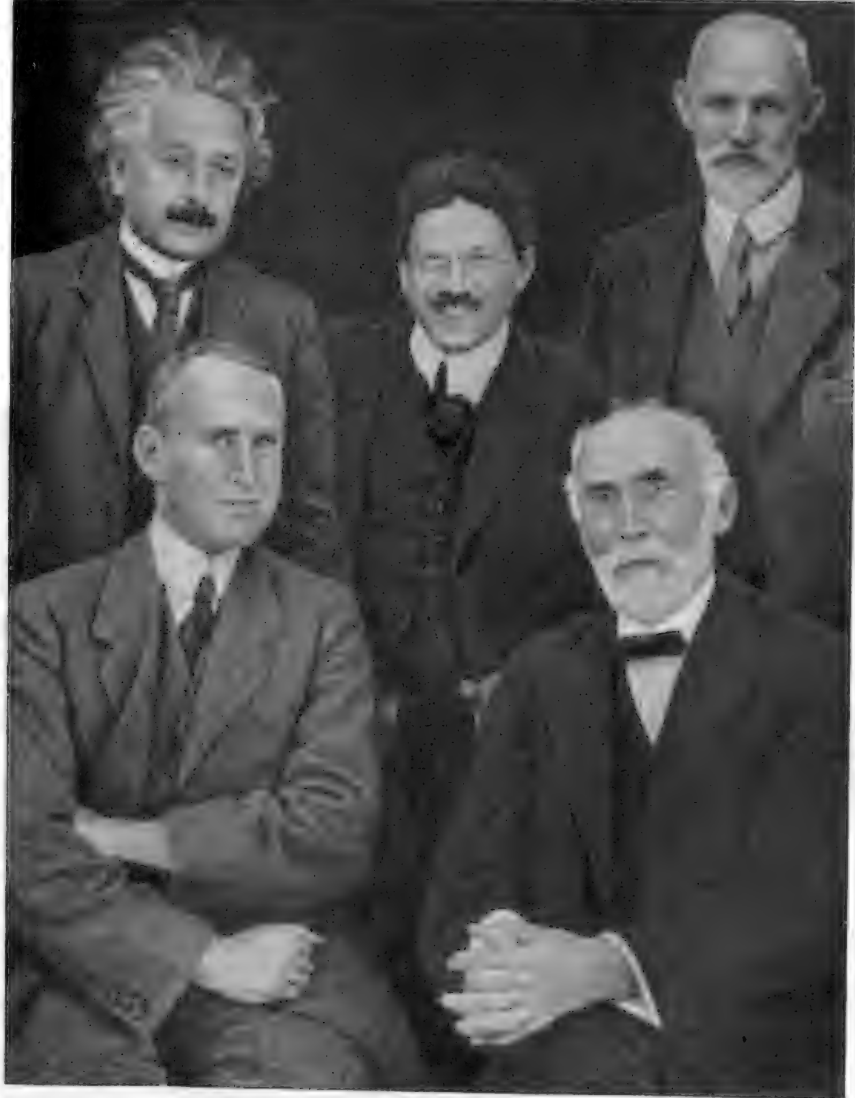
А. Эйнштейн со своей первой женой
Милевой Марич



Цюрих, 1910 г.



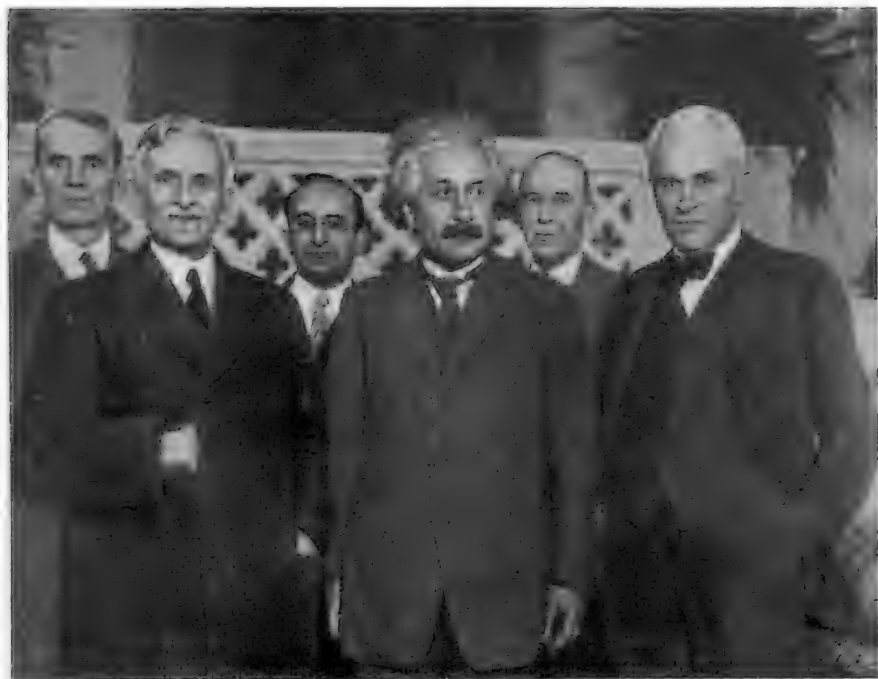
Берлин, 1916 г.



А. Эйнштейн, П. Эренфест, В. де Ситтер,
А. Эддингтон, Г. Лоренц
1923 г.

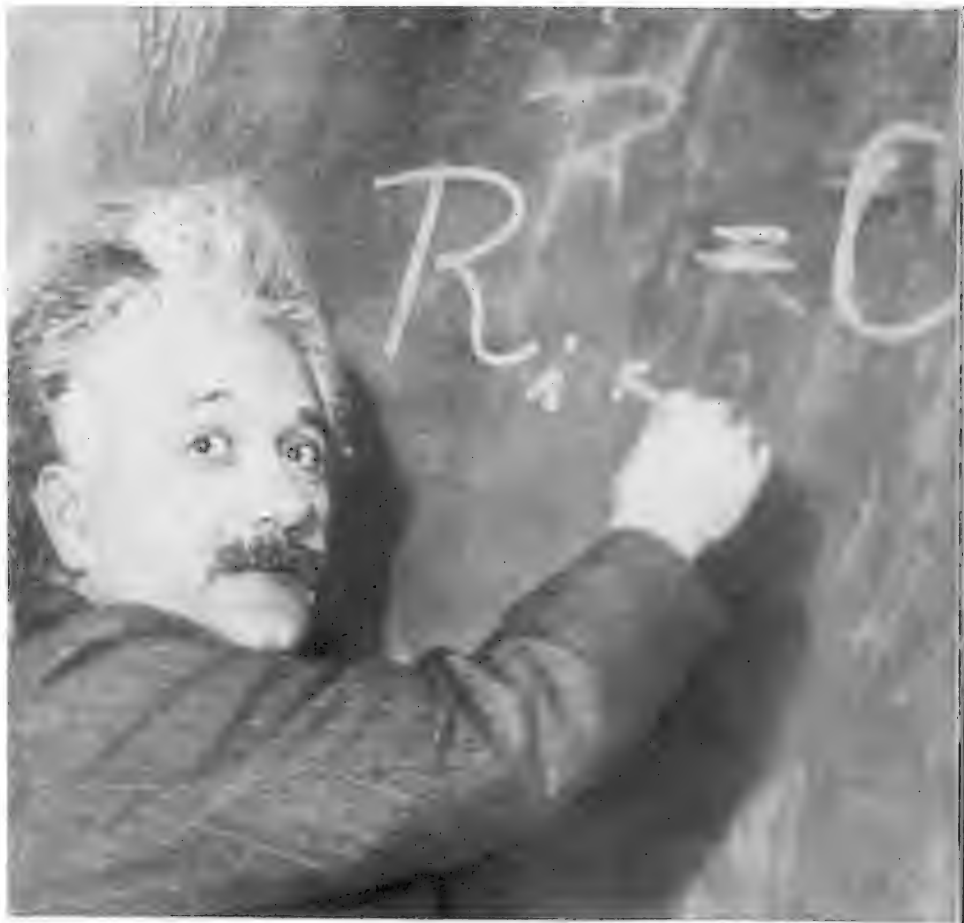


**А. Эйнштейн со своей второй женой Эльзой
и падчерицей Марго**



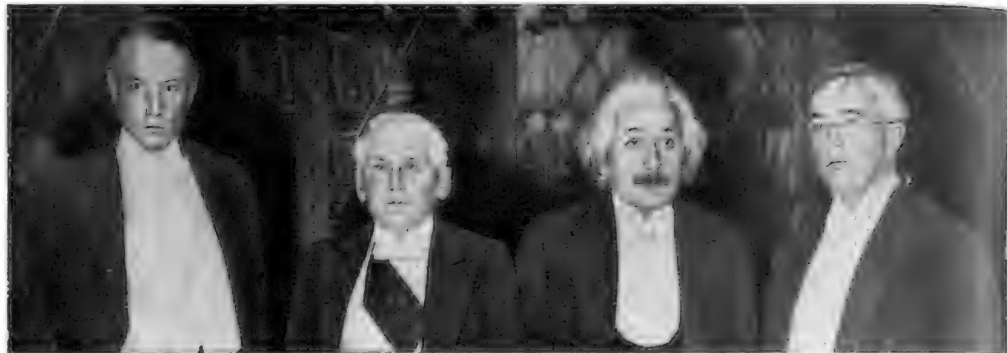
А. Майкельсон, А. Эйнштейн, Р. Милликен
1926 г.



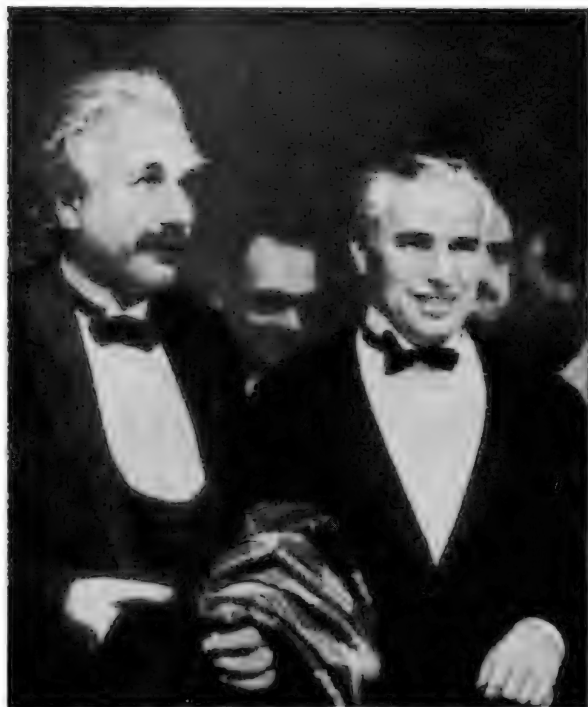


Принстон, 1932 г.

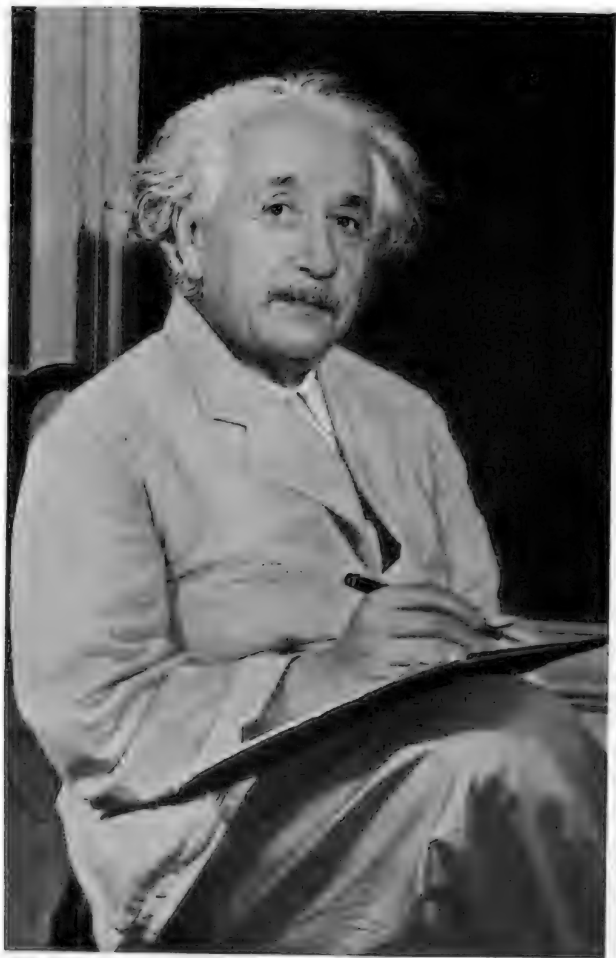
Берлин, 1931 г.



Синклер Льюис, Ф. Келлог,
А. Эйнштейн, И. Лонгмюр



А. Эйнштейн и Чарли Чаплин
1931 г.



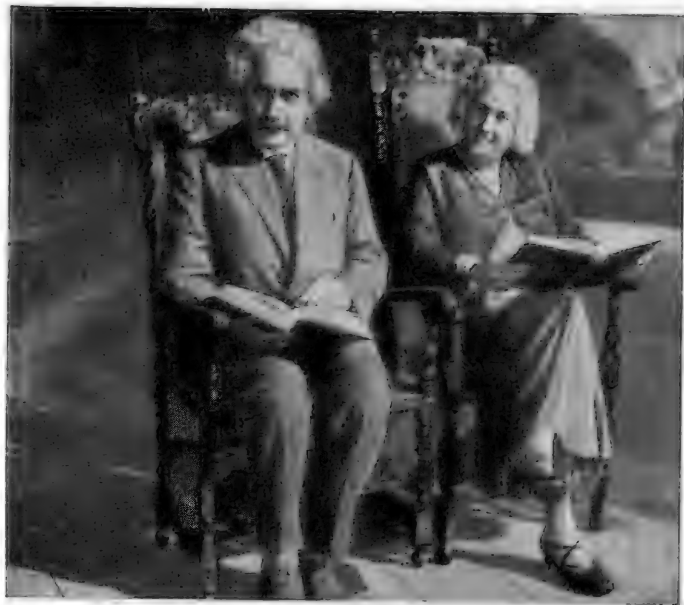
Принстон, 1935 г.



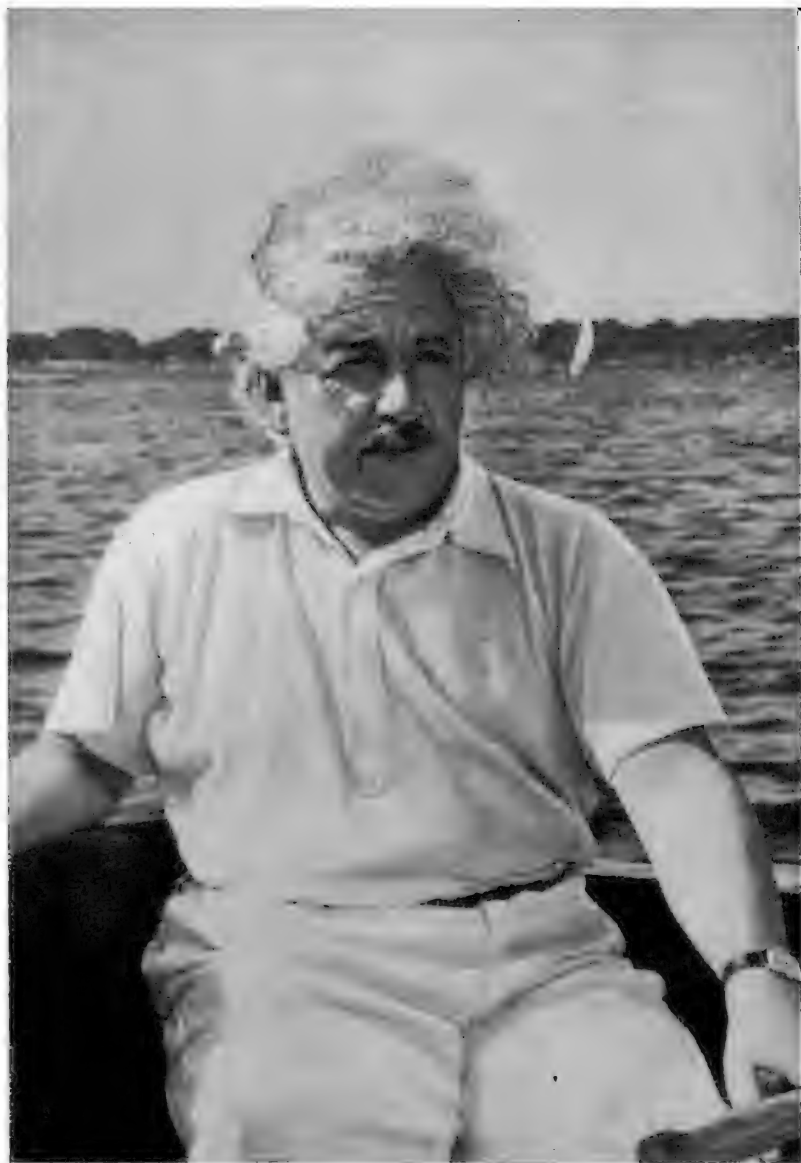


Индира Ганди, А. Эйнштейн
Д. Неру и В. Пандит

Р. Тагор
на даче Эйнштейна
Капут под Берлином
1930 г.



А. Эйнштейн и Эльза



А. Эйнштейн на яхте
1934 г.



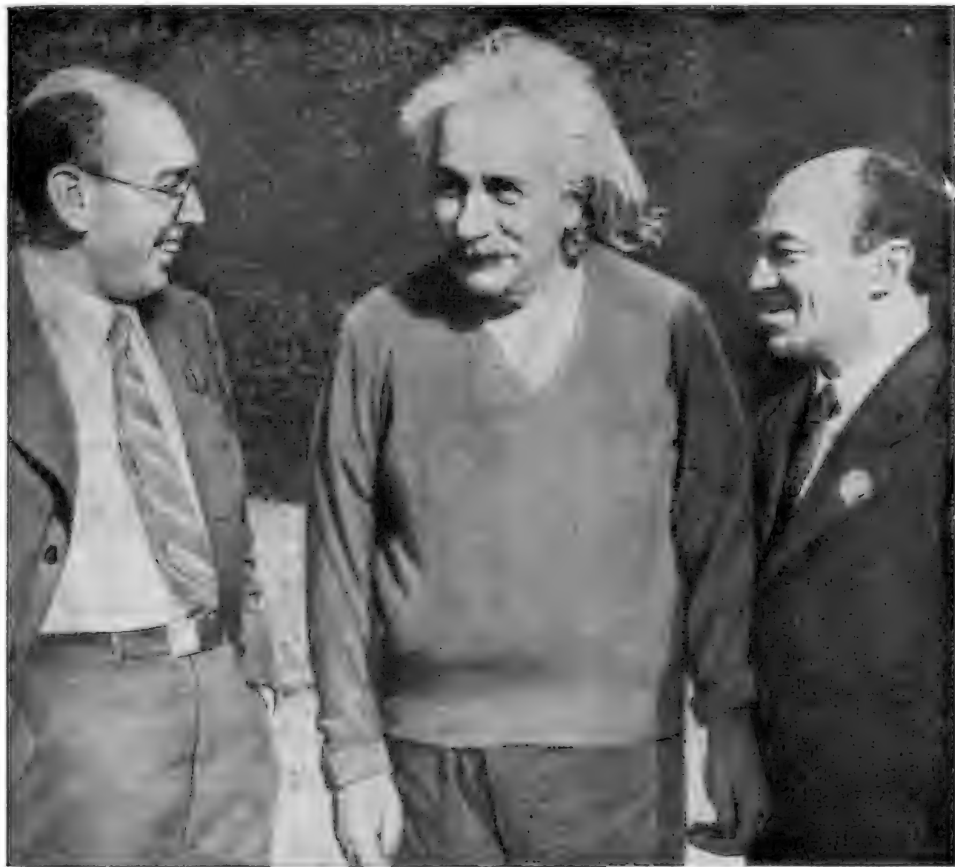
Пристон, 1942 г.



Ирэн Жоллио-Кюри
и Эйнштейн



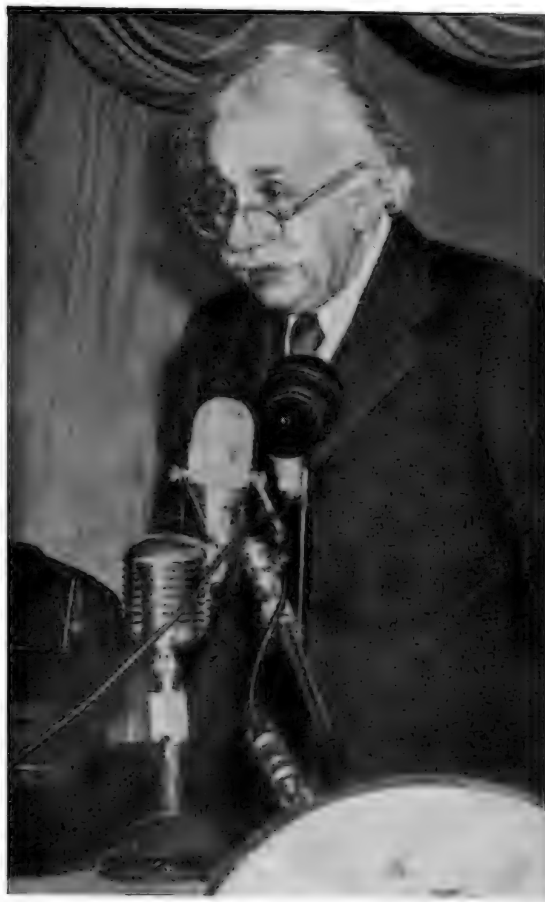
Эйнштейн
и его секретарь
Эллен Дюкас
1940 г.



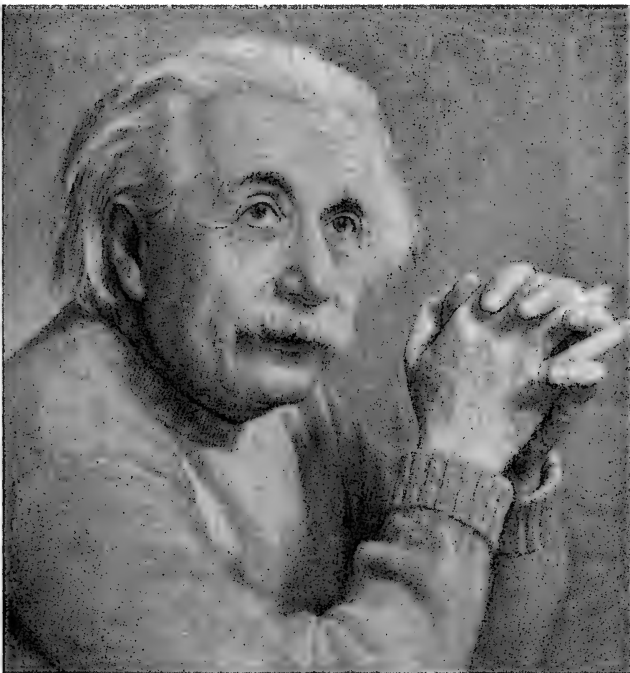
С. Михоэлс (справа)
и поэт И. Фефер
у Эйнштейна
1943 г.

**Президент университета Линкольна Г. Бонд
вручает Эйнштейну почетный диплом**





Речь в защиту мира



**Принстон
1948 г.**



**А. Эйнштейн
и Р. Оппенгеймер**



**И. Эренбург у Эйнштейна
Принстон, 1945 г.**



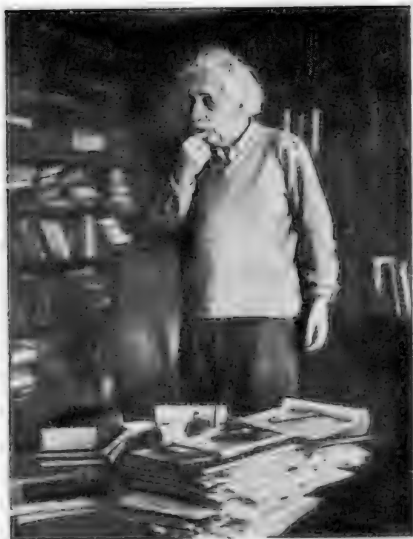
**А. Эйнштейн
со студентом**



**За работой
Принстон**

Н. Бор, Д. Франк, А. Эйнштейн, И. Рabi





А. Эйнштейн
в последний год жизни



Принстон
14 марта 1955 г.



*Память о его благородном облике навсегда
останется живым источником вдохновения
и силы для тех, кто был настолько счастлив,
что знал его лично*

Нильс Бор

**УКАЗАТЕЛЬ СОАВТОРОВ СТАТЕЙ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ В НАСТОЯЩЕМ СОБРАНИИ
НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

Баргман В. (II, 121, 124)¹
Бергман П. (II, 118, 121)
де Гааз В. (III, 40, 41)
Гоффман Б. (II, 117)
Громмер Я. (II, 71, 85)
Гроссман М. (I, 21, 32)
Инфельд Л. (II, 117, 120, 135; IV, «Эволюция физики»)
Лауб И. (I, 9, 10, 11)
Майер В. (II, 100, 105, 106, 107; III, 72, 73, 74, 75)
Мюзам Г. (III, 54)
Паули В. (II, 123)
Подольский Б. (III, 70, 76)
Ритц В. (III, 18)
Розен Н. (II, 113, 114, 116; III, 76)
де Ситтер (II, 108)
Страус Э. (II, 128, 129, 130)
Толмен Р. (III, 70)
Фоккер А. Д. (I, 25)
Хоцф Л. (III, 20, 21)
Штерн О. (III, 34)
Эренфест П. (III, 52, 55)

¹ В скобках указаны том и номера статей.

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В НАСТОЯЩЕМ СОБРАНИИ НАУЧНЫХ ТРУДОВ

1901 г.	Том	Стр.
Следствия из явлений капиллярности	III	7
1902 г.		
О термодинамической теории разности потенциалов между металлами и полностью диссоциированными растворами их солей и об электрическом методе исследования молекулярных сил	III	18
Кинетическая теория теплового равновесия и второго начала термодинамики	III	34
1903 г.		
Теория основ термодинамики	III	50
1904 г.		
К общей молекулярной теории теплоты	III	67
1905 г.		
Новое определение размеров молекул	III	75
Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света	III	92
О движении взвешенных в покоящейся жидкости частиц, требуемом молекулярно-кинетической теорией теплоты	III	108
К электродинамике движущихся тел	I	7
Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии?	I	36
1906 г.		
К теории броуновского движения	III	118
К теории возникновения и поглощения света	III	128
578		

	Том	Стр
Закон сохранения движения центра тяжести и инерция энергии	I	39
О методе определения соотношений между поперечной и продольной массами электрона	I	45
1907 г.		
Теория излучения Планка и теория удельной теплоемкости	III	134
Поправка к моей работе «Теория излучения Планка и т. д.»	III	144
О границе применимости теоремы о термодинамическом равновесии и о возможности нового определения элементарных квантов	III	145
Теоретические замечания о броуновском движении	III	149
О возможности нового доказательства принципа относительности	I	49
По поводу заметки Пауля Эренфеста «Поступательное движение деформируемых электронов и теорема площадей»	I	51
О инерции энергии, требуемой принципом относительности	I	53
О принципе относительности и его следствиях	I	65
1908 г.		
Новый электростатический метод измерения малых количеств электричества	III	152
Элементарная теория броуновского движения	III	155
Об основных электромагнитных уравнениях движущихся тел. (Совместно с И. Лаубом)	I	115
Замечания к нашей работе «Об основных электромагнитных уравнениях для движущихся тел» (Совместно с И. Лаубом)	I	123
О ponderomotorных силах, действующих в электромагнитном поле на покоящиеся тела. (Совместно с И. Лаубом)	I	126
1909 г.		
Замечание к работе Мириманова «Об основных уравнениях...»	I	135
К современному состоянию проблемы излучения	III	164
К современному состоянию проблемы излучения (Совместно с В. Ритцем)	III	180
О развитии наших взглядов на сущность и структуру излучения	III	181
1910 г.		
Об одной теореме теории вероятностей и ее применении в теории излучения. (Совместно с Л. Хопфом)	III	196
Статистическое исследование движения резонатора в поле излучения. (Совместно с Л. Хопфом)	III	205
	37*	

	Том	Стр.
Теория опалесценции в однородных жидкостях и жидких смесях вблизи критического состояния	III	216
Принцип относительности и его следствия в современной физике	I	138
Теория квантов света и проблема локализации электромагнитной энергии	III	237
О пондеромоторных силах, действующих на ферромагнитные проводники с током, помещенные в магнитное поле	III	240
1911 г.		
Замечание к закону Этвеша	III	242
Связь между упругими свойствами и удельной теплоемкостью твердых тел с одноатомными молекулами	III	247
Замечание к моей работе: «Связь между упругими свойствами и удельной теплоемкостью...»	III	251
Замечания к работам П. Герца: «О механических основах термодинамики»	III	252
Исправление к моей работе: «Новое определение размеров молекул»	III	90
Элементарное рассмотрение теплового движения молекул в твердых телах	III	253
О влиянии силы тяжести на распространение света	I	165
Теория относительности	I	175
К парадоксу Эренфеста. Замечание к статье В. Варичака	I	187
1912 г.		
Термодинамическое обоснование закона фотохимического эквивалента	III	266
Дополнение к моей работе «Термодинамическое обоснование закона фотохимического эквивалента»	III	272
Скорость света и статическое гравитационное поле	I	183
К теории статического гравитационного поля	I	202
Ответ на замечание И. Штарка «О применении элементарного закона Планка...»	III	276
Относительность и гравитация. Ответ на замечание М. Абрагама	I	217
Замечание к статье М. А. Абрагама: «Еще раз об относительности и гравитации»	I	222
К современному состоянию проблемы удельной теплоемкости	III	277
Существует ли гравитационное воздействие, аналогичное электродинамической индукции?	I	223

	Том	Стр.
1913 г.		
Проект обобщенной теории относительности и теории тяготения. (<i>Совместно с М. Гроссманом</i>)	I	227
Некоторые аргументы в пользу гипотезы о молекулярном возбуждении при абсолютном нуле. (<i>Совместно с О. Штерном</i>)	III	314
Термодинамический вывод закона фотохимического эквивалента	III	323
Физические основы теории тяготения	I	267
Макс Планк как исследователь	IV	9
К современному состоянию проблемы тяготения	I	273
1914 г.		
Дополнительный ответ на вопрос Рейснера	I	299
Теория гравитации Нордстрема с точки зрения абсолютного диффе- ренциального исчисления. (<i>Совместно с А. Д. Фоккером</i>)	I	305
Замечания к статье П. Гарцера «Увлечение света в стекле и абберация»	I	313
Ответ на реплику П. Гарцера	I	315
К квантовой теории	III	328
К теории гравитации	I	317
Вступительная речь	IV	14
Рецензия на книгу Г. А. Лоренца «Принцип относительности»	IV	17
Принципиальные вопросы обобщенной теории относительности и тео- рии гравитации	I	319
Формальные основы общей теории относительности	I	326
К проблеме относительности	I	385
О принципе относительности	I	395
Ковариантные свойства уравнений поля в теории тяготения, основан- ной на обобщенной теории относительности. (<i>Совместно с М. Гросс- маном</i>)	I	399
1915 г.		
Теоретическая атомистика	III	336
Теория относительности	I	410
Ответ на статью М. Лауэ «Теорема теории вероятностей и ее применение к теории излучения»	III	352
Экспериментальное доказательство молекулярных токов Ампера	III	359
Экспериментальное доказательство существования молекулярных то- ков Ампера. (<i>Совместно с В. де Гаазом</i>)	III	363

	Том	Стр.
Исправление к нашей с В. де Гаазом работе «Экспериментальное доказательство существования молекулярных токов Ампера»	III	380
Замечание к нашей работе «Экспериментальное доказательство существования молекулярных токов Ампера». (Совместно с В. де Гаазом)	III	381
К общей теории относительности	I	425
К общей теории относительности (Дополнение)	I	435
Объяснение движения перигелия Меркурия в общей теории относительности	I	439
Уравнения гравитационного поля	I	448

1916 г.

Простой эксперимент для доказательства молекулярных токов Ампера	III	382
Основы общей теории относительности	I	452
Предисловие к книге Э. Фрейдлиха «Основы теории тяготения Эйнштейна»	IV	18
Испускание и поглощение излучения по квантовой теории	III	386
К квантовой теории излучения	III	393
Рецензия на книгу Г. А. Лоренца «Статистические теории в термодинамике»	IV	19
Автореферат работы «Основы общей теории относительности»	IV	21
Элементарная теория полета и волн на воде	IV	22
Эрнст Мах	IV	27
Новое формальное истолкование электродинамических уравнений Максвелла	I	508
Приближенное интегрирование уравнений гравитационного поля	I	514
О статье Ф. Коттлера «Гипотеза эквивалентности Эйнштейна и гравитация»	I	505
Памяти Карла Шварцшильда	IV	33
Принцип Гамильтона и общая теория оносительности	I	524

1917 г.

О специальной и общей теории относительности (общедоступное изложение)	I	530
К квантовому условию Зоммерфельда и Эпштейна	III	407
Рецензия на книгу Г. Гельмгольца «Два доклада о Гёте»	IV	35
Мариан Смолуховский	IV	36

	Том	Стр.
Вопросы космологии и общая теория относительности	I	601
Вывод теоремы Якоби	III	417
1918 г.		
Мотивы научного исследования	IV	39
Принципиальное содержание общей теории относительности	I	613
Можно ли определить экспериментально показатели преломления тел для рентгеновых лучей?	III	421
Замечание к статье Е. Герке «Об эфире»	I	606
Рецензия на книгу Г. Вейля «Пространство, время, материя»	IV	42
Диалог по поводу возражений против теории относительности	I	616
Замечания к работе Э. Шредингера «Компоненты энергии гравитационного поля»	I	626
Замечания к заметке Э. Шредингера «О системе решений общековариантных уравнений гравитации»	I	620
О гравитационных волнах	I	631
Критические замечания к решению де Ситтера уравнений гравитационного поля?	I	647
Закон сохранения энергии в общей теории относительности	I	650
1919 г.		
Доказательство общей теории относительности	I	663
Играют ли гравитационные поля существенную роль в построении элементарных частиц материи?	I	664
Замечания о периодических изменениях длины лунного месяца, до сих пор казавшихся не объяснимыми механикой Ньютона	I	672
Замечание к предыдущей статье	I	676
Что такое теория относительности?	I	677
Лео Аронс как физик	IV	44
1920 г.		
Эфир и теория относительности	I	682
Замечание к работе В. Р. Гесса «Теория вязкости гетерогенной системы»	III	91
О моменте инерции молекулы водорода	III	429
Распространение звука в частично диссоциированных газах	III	423
Ответ на статью Рейхенбахера	I	690
Мой ответ. По поводу антирелятивистского акционерного общества	I	693

1921 г.	Том	Стр.
Сущность теории относительности	II	5
Геометрия и опыт	II	83
Простое применение закона тяготения Ньютона к шаровому скоплению звезд	II	95
Краткий очерк развития теории относительности	II	99
Об одном естественном дополнении основ общей теории относительности	II	105
Об эксперименте, касающемся элементарного процесса испускания света	III	430
О теории относительности	II	109
1922 г.		
Теоретические замечания к сверхпроводимости металлов	III	432
Замечание к работе Франца Селети «К космологической системе»	II	112
Рецензия на книгу В. Паули «Теория относительности»	IV	46
Эмиль Варбург как исследователь	IV	47
К теории распространения света в диспергирующих средах	III	437
Замечание к работе Э. Трефтца «Статическое гравитационное поле двух точечных масс в теории Эйнштейна»	II	115
Квантово-теоретические замечания к опыту Штерна и Герлаха. (Совместно с П. Эрнфестом)	III	442
Предисловие к собранию трудов, выпускаемому издательством Каицоса	IV	53
О современном кризисе теоретической физики	IV	55
Замечание к работе А. Фридмана «О кривизне пространства»	II	118
1923 г.		
К работе А. Фридмана «О кривизне пространства»	II	119
Основные идеи и проблемы теории относительности	II	120
Замечание к заметке В. Андерсона «Новое объяснение непрерывного спектра солнечной короны»	III	446
Экспериментальное определение размера каналов в фильтрах. (Совместно с Г. Мюзамом)	III	447
Доказательство несуществования всюду регулярного центрально-симметричного поля в теории поля Т. Калуцы (Совместно с Я. Громмером)	II	130
К общей теории относительности	II	134
Замечание к моей работе «К общей теории относительности»	II	142
К аффинной теории поля	II	145
Теория аффинного поля	II	141

	Том	Стр.
К квантовой теории радиационного равновесия. (<i>Совместно с П. Эрн-фестом</i>)	III	456
Предлагает ли теория поля возможности для решения квантовой проблемы?	III	450
1924 г.		
Предисловие к немецкому изданию книги Лукреция «О природе вещей»	IV	61
Ответ на замечание В. Андерсона	III	463
Эксперимент Комптона. Существует ли наука ради самой науки?	III	464
К столетию со дня рождения лорда Кельвина (26 июня 1824 г.)	IV	63
К теории радиометрических сил	III	468
Примечание к статье С. Н. Бозе «Закон Планка и гипотеза световых квантов»	III	473
Замечания к статье С. Н. Бозе «Тепловое равновесие в поле излучения в присутствии вещества»	III	479
Квантовая теория одноатомного идеального газа	III	481
Об эфире	II	154
Рецензия на книгу И. Винтернитца «Теория относительности и теория познания»	IV	67
Рецензия на книгу Макса Планка «Тепловое излучение»	IV	69
1925 г.		
Теория Эддингтона и принцип Гамильтона	II	161
Электрон и общая теория относительности	II	167
Квантовая теория одноатомного идеального газа. Второе сообщение	III	489
К квантовой теории идеального газа	III	503
Единая полевая теория тяготения и электричества	II	171
Замечание к статье П. Иордана «К теории излучения квантов»	III	512
1926 г.		
В. Г. Юлиус (1860—1925)	IV	71
Причины образования извилин в руслах рек и так называемый закон Бэра	IV	74
Предложение опыта, касающегося природы элементарного процесса излучения	III	514
Об интерференционных свойствах света, испускаемого каналовыми лучами	III	517

	Том	Стр.
Неевклидова геометрия и физика	II	178
О формальном отношении римановского тензора кривизны к уравнениям гравитационного поля	II	183
1927 г.		
Новые опыты по влиянию движения Земли на скорость света относительно Земли	II	188
Исаак Ньютон	IV	78
Механика Ньютона и ее влияние на формирование теоретической физики	IV	82
К 200-летию со дня смерти Исаака Ньютона	IV	89
Письмо в Королевское общество по случаю 200-летия со дня рождения Ньютона	IV	94
К теории связи гравитации и электричества Калуцы. I	II	190
К теории связи гравитации и электричества Калуцы. II	II	193
Общая теория относительности и закон движения. (<i>Совместно с Я. Громмером</i>)	II	198
Общая теория относительности и закон движения	II	211
Теоретические и экспериментальные соображения к вопросу о возникновении света	III	525
1928 г.		
Речь у могилы Г. А. Лоренца	IV	95
Заслуги Г. А. Лоренца в деле международного сотрудничества	IV	96
Геометрия Римана с сохранением понятия «абсолютного» параллелизма	II	223
Новая возможность единой теории поля тяготения и электричества	II	229
По поводу книги Эмиля Мейерсона «Релятивистская дедукция»	IV	98
Фундаментальные понятия физики и изменения, которые произошли в них за последнее время	IV	103
Замечание о квантовой теории	III	528
1929 г.		
Пространство-время	II	234
О современном состоянии теории поля	II	244
Речь на юбилее профессора Плайка	IV	109
Замечание к переводу речи Араго «Памяти Томаса Юнга»	IV	111

	Том	Стр.
К единой теории поля	II	252
Новая теория поля. I	II	260
Новая теория поля. II	II	265
Единая теория поля и принцип Гамильтона	II	270
Оценка работ Симона Ньюкома	IV	112
Беседа А. Эйнштейна на специальной сессии Национальной академии наук в Буэнос-Айресе 16 апреля 1925 г.	IV	114
1930 г.		
Иоганн Кеплер	IV	121
Проблема пространства, эфира и поля в физике	II	275
Проблема пространства, поля и эфира в физике	II	283
Единая теория физического поля	II	286
Единая теория поля, основанная на метрике Римана и абсолютном параллелизме	II	307
Совместность уравнений единой теории поля	I	321
Два строгих статических решения уравнений единой теории поля. (Совместно с В. Майером)	II	329
К теории пространств с римановой метрикой и абсолютным параллелизмом	II	342
Адрес Ноттингемскому университету	II	243
О современном состоянии общей теории относительности	II	344
Гравитационное и электромагнитное поля	II	347
Предисловие к книге Антона Райзера «Альберт Эйнштейн»	IV	125
Религия и наука	IV	126
1931 г.		
Природа реальности. Беседа с Рабиндранатом Тагором	IV	130
Томас Альва Эдисон	IV	134
Предисловие к книге Р. де Вилламиля «Ньютон как человек»	IV	135
Влияние Максвелла на развитие представлений о физической реальности	IV	136
Предисловие в «Оптике» Ньютона	IV	140
Познание прошлого и будущего в квантовой механике. (Совместно с Р. Толменом и В. Подольским)	III	531
К космологической проблеме общей теории относительности	II	349
Систематическое исследование совместных уравнений поля, возможных		

	Том	Стр.
в римановом пространстве, с абсолютным параллелизмом. (<i>Совместно с В. Майером</i>)	II	353
О радио	IV	141
О науке	IV	142
Ответ на поздравительные адреса на обеде в Калифорнийском технологическом институте	IV	147
Памяти Альберта А. Майкельсона	IV	149
Наука и счастье	IV	151
Единая теория гравитации и электричества. (<i>Совместно с В. Майером</i>)	II	366
1932 г.		
Единая теория гравитации и электричества. II. (<i>Совместно с В. Майером</i>)	II	387
Пролог	IV	152
Эпилог. Сократовский диалог	IV	156
Наука и бог	IV	163
О связи между расширением и средней плотностью Вселенной. (<i>Совместно с У. де Ситтером</i>)	II	396
Замечания о новой постановке проблем в теоретической физике	IV	167
Из книги «Строители Вселенной»	IV	170
К семидесятилетию д-ра Берлинера	IV	173
Современное состояние теории относительности	II	393
О соотношении неопределенностей	III	534
Полувекторы и спиноры. (<i>Совместно с В. Майером</i>)	III	535
Мое кредо	IV	175
1933 г.		
Письма в Прусскую и Баварскую Академии наук	IV	177
О методе теоретической физики	IV	181
Некоторые замечания о возникновении общей теории относительности	II	403
О космологической структуре пространства	II	407
Уравнения Дирака для полувекторов. (<i>Совместно с В. Майером</i>)	III	568
Расщепление наиболее естественных уравнений поля для полувекторов на спинорные уравнения дираковского типа. (<i>Совместно с В. Майером</i>)	III	591
Наука и цивилизация	IV	187
1934 г.		
Памяти Пауля Эренфеста	IV	190
Памяти Марии Кюри	IV	193

	Том	Стр.
Предисловие к книге Л. Инфельда «Мир в свете современной науки»	IV	194
Представление полувекторов как обычных векторов с особым характером дифференцирования. (Совместно с В. Майером)	III	596
Памяти де Ситтера	IV	195
1935 г.		
Рецензия на книгу Р. Толмена «Относительность, термодинамика и космология»	IV	196
Элементарный вывод эквивалентности массы и энергии	II	416
Можно ли считать квантовомеханическое описание физической реальности полным? (Совместно с Н. Розеном и Б. Подольским)	III	604
Проблема частиц в общей теории относительности. (Совместно с Н. Розеном)	II	424
Памяти Эмми Нетер	IV	198
1936 г.		
Физика и реальность	IV	200
Проблема двух тел в общей теории относительности. (Совместно с Н. Розеном)	II	424
Линзоподобное действие звезды при отклонении света в гравитационном поле	II	436
Комментарий по поводу обобщения теории относительности профессора Пейджем и критики доктора Зильберштейна	IV	228
1937 г.		
О гравитационных волнах. (Совместно с Н. Розеном)	II	438
1938 г.		
Гравитационные уравнения и проблема движения. (Совместно с Л. Инфельдом и Б. Гоффманом)	II	450
Обобщение теории электричества Калуцы. (Совместно с П. Бергманом)	II	492
Эволюция физики. (Совместно с Л. Инфельдом)	IV	357
1939 г.		
О стационарных системах, состоящих из многих гравитирующих частиц и обладающих сферической симметрией	II	514
1940 г.		
Гравитационные уравнения и проблема движения. II. (Совместно с Л. Инфельдом)	II	532
Рассуждения об основах теоретической физики	IV	229
Свобода и наука	IV	239

	Том	Стр.
1941 г.		
О пятимерном представлении гравитации и электричества. (<i>Совместно с В. Баргманом и П. Бергманом</i>)	II	543
Демонстрация несуществования гравитационных полей с исчезающей массой, свободных от сингулярностей	II	555
1942 г.		
Деятельность и личность Вальтера Нернста	IV	242
Всеобщий язык науки	IV	245
1943 г.		
Несуществование регулярных стационарных решений релятивистских уравнений поля. (<i>Совместно с В. Паули</i>)	II	569
1944 г.		
Замечания о теории познания Бертрانا Рассела	IV	248
Бивекторные поля. I. (<i>Совместно с В. Баргманом</i>)	II	568
Бивекторы поля. II	II	586
1945 г.		
О «космологической проблеме». Дополнение ко второму изданию работы «Сущность теории относительности»	II	597
Обобщение релятивистской теории гравитации	II	614
Влияние расширения пространства на гравитационные поля, окружающие отдельные звезды. (<i>Совместно с Э. Страусом</i>)	II	623
1946 г.		
Поправки и дополнительные замечания к нашей работе «Влияние расширения пространства на гравитационные поля, окружающие отдельные звезды». (<i>Совместно с Э. Страусом</i>)	II	632
Обобщение релятивистской теории гравитации. II. (<i>Совместно с Э. Страусом</i>)	II	636
Элементарный вывод эквивалентности массы и энергии	II	650
$E = mc^2$: настоящая проблема нашего времени	II	653
Предисловие к книге Рудольфа Кайзера «Спиноза»	IV	253
1947 г.		
Поль Ланжевен	IV	255

	Том	Стр.
1948 г.		
Относительность: сущность теории относительности	II	657
Квантовая механика и действительность	III	612
Обобщенная теория тяготения	II	663
Памяти Макса Планка	IV	257
Предисловие к книге Л. Барнетта «Вселенная и д-р Эйнштейн»	IV	258
1949 г.		
О движении частиц в общей теории относительности. (<i>Совместно с Л. Инфельдом</i>)	II	674
Автобиографические заметки	IV	259
Замечания к статьям	IV	294
1950 г.		
Время, пространство и тяготение	II	715
Физика, философия и научный прогресс	IV	316
Предисловие к книге Филиппа Франка «Относительность»	IV	322
Об обобщенной теории тяготения	II	719
Тождества Бианки в обобщенной теории гравитации	II	732
1951 г.		
Предисловие к книге Каролы Баумгардт «Иоганн Кеплер. Жизнь и письма»	IV	324
Письмо Г. Сэмьюэлу	IV	327
1952 г.		
Относительность и проблема пространства	II	744
Ответ читателям «Ежемесячника популярной науки»	II	760
Предисловие к книге И. Хэннака «Эммануил Ласкер»	IV	331
1953 г.		
Обобщение теории тяготения. Приложение II к четвертому изданию работы «Сущность теории относительности»	II	762
Замечания по поводу критики единой теории поля	II	797
О современном состоянии общей теории гравитации. (<i>Совместно с В. Кауфман</i>)	II	800

	Том	Стр.
Элементарные соображения и интерпретации основ квантовой механики	III	617
Вводные замечания об основных понятиях	III	623
Г. А. Лоренц как творец и человек	IV	334
Предисловие к книге Галилея «Диалог о двух главных системах мира»	IV	337
1954 г.		
К 410-й годовщине со дня смерти Коперника	IV	343
Предисловие к книге Макса Джеммера «Понятие пространства»	IV	344
Алгебраические свойства поля в релятивистской теории несимметричного поля. (Совместно с Б. Кауфман)	II	818
1955 г.		
Предисловие к книге Луи де Бройля «Физика и микрофизика»	IV	349
Автобиографические наброски	IV	350
Новая форма уравнений поля в общей теории относительности. (Совместно с Б. Кауфман)	II	835
Релятивистская теория несимметричного поля. Приложение II к пятому изданию работы «Сущность теории относительности»	II	849
1906—1955 гг.		
Письма к Морису Соловину	IV	547

При подборе статей в настоящем Собрании научных трудов были использованы две подробные библиографии трудов Эйнштейна. Одна из них составлена Маргарет Шилдс и опубликована в сборнике П. Шилпа, изданном в честь 70-летия Эйнштейна. В первом издании (1949 г.)¹ библиография доведена до октября 1949 г.; во второе издание² включено «Дополнение», в котором даны работы, опубликованные до мая 1951 г. Вторая библиография опубликована как дополнение к микропечатному изданию работ Эйнштейна³ (1960 г.).

¹ Shields M. Bibliography of Writings Albert Einstein. В сб. «Albert Einstein — Philosopher-Scientist». Edvanston, 1949, 689—758; из серии «Library of Living Philosophers».

² Albert Einstein — Philosopher-Scientist, 2-nd Ed., Edvanston — N. Y., 1951, 689—760. Перепечатано в двух томах в 1959 г. N. Y.; в серии «Harper Torch Books, Science Library», ТВ 502 и 503. Немецкое издание (Штуттгарт) вышло в 1955 г.

³ Bibliographical Checklist and Index, Readex Microprint Corporation. N. Y., 1960. (Составители: Neel Boni, Monique Russ, Dan H. Laurence).

Дополнением к этим изданиям служила библиография, составленная Управлением информации ЦЕРН, покрывающая 1955—1965 гг. Кроме того, было найдено несколько работ, пропущенных в этих библиографиях.

Существует еще одна библиография, которая была нам недоступна. Она составлена лондонским букинистом Эрнстом Вейлем и издавалась дважды ⁴. Эта библиография, по-видимому, не добавляет ничего нового. Полезный обзор библиографий и изданий Эйнштейна сделан Гербертом Кликштейном ⁵. Кроме этих источников была использована и библиография русских изданий работ Эйнштейна, составленная В. Д. Корниловым ⁶.

⁴ E. Weil. Albert Einstein — A bibliography of his Scientific Papers, 1901—1930. London, 1937 (24 стр.); 2-е издание (London, 1960) охватывает 1901—1954 гг. (42 стр.).

⁵ H. S. Klickstein. A Cumulative Review of Bibliographies of the Published Writings by Albert Einstein. Journal of the Albert Einstein Medical Centre, 1962, 10, 141—149.

⁶ Успехи физических наук, 1965, 86, 585, 586.

СОДЕРЖАНИЕ

От редакции	5
1913 г.	
1. Макс Планк как исследователь	9
1914 г.	
2. Вступительная речь	14
3. Рецензия на книгу Г. А. Лоренца «Принцип относительности»	17
1916 г.	
4. Предисловие к книге Э. Фрейндлиха «Основы теории тяготения Эйнштейна»	18
5. Рецензия на книгу Г. А. Лоренца «Статистические теории в термодинамике»	19
6. Автореферат работы «Основы общей теории относительности»	21
7. Элементарная теория полета и волн на воде	22
8. Эрнст Мах	27
9. Памяти Карла Шварцшильда	33
1917 г.	
10. Рецензия на книгу Г. Гельмгольца «Два доклада о Гёте»	35
11. Мариан Смолуховский	36

1918 г.

12. Мотивы научного исследования 39
13. Рецензия на книгу Германа Вейля «Пространство, время, материя» 42

1919 г.

14. Лео Аронс как физик 44

1922 г.

15. Рецензия на книгу В. Паули «Теория относительности» 46
16. Эмиль Варбург как исследователь 47
17. Предисловие к собранию трудов, выпускаемому издательством Каицоша 53
18. О современном кризисе теоретической физики 55

1924 г.

19. Предисловие к немецкому изданию книги Лукреция «О природе вещей» 61
20. К столетию со дня рождения лорда Кельвина (26 июня 1824 г.) 63
21. Рецензия на книгу И. Винтернитца «Теория относительности и теория познания» 67
22. Рецензия на книгу Макса Планка «Тепловое излучение» 69

1926 г.

23. В. Г. Юлиус (1860—1925) 71
24. Причины образования извилин в руслах рек и так называемый закон Бэра 74

1927 г.

25. Исаак Ньютон 78
26. Механика Ньютона и ее влияние на формирование теоретической физики 82
27. К 200-летию со дня смерти Исаака Ньютона 89
28. Письмо в Королевское общество по случаю 200-летия со дня рождения Ньютона 94

1928 г.

29. Речь у могилы Г. А. Лоренца	95
30. Заслуги Г. А. Лоренца в деле международного сотрудничества	96
31. По поводу книги Эмиля Мейерсона «Релятивистская дедукция»	98
32. Фундаментальные понятия физики и изменения, которые произошли в них за последнее время	103

1929 г.

33. Речь на юбилее профессора Планка	109
34. Замечание к переводу речи Араго «Памяти Томаса Юнга»	111
35. Оценка работ Симона Ньюкома	112
36. Беседа А. Эйнштейна на специальной сессии Национальной академии наук в Буэнос-Айресе 16 апреля 1925 г.	114

1930 г.

37. Иоганн Кеплер	121
38. Предисловие к книге Антона Райзера «Альберт Эйнштейн»	125
39. Религия и наука	126

1931 г.

40. Природа реальности. Беседа с Рабиндранатом Тагором	130
41. Томас Альва Эдисон	134
42. Предисловие к книге Р. де Вилламиля «Ньютон как человек»	135
43. Влияние Максвелла на развитие представлений о физической реальности	136
44. Предисловие к «Оптике» Ньютона	140
45. О радио	141
46. О науке	142
47. Ответ на поздравительные адреса на обеде в Калифорнийском технологическом институте	147
48. Памяти Альберта А. Майкельсона	149
49. Наука и счастье	151

1932 г.

50. Пролог	152
51. Эпилог. Сократовский диалог	156
52. Замечания о новой постановке проблем в теоретической физике	167
53. Из книги «Строители Вселенной»	170
54. К семидесятилетию д-ра Берлинера	173
55. Мое кредо	175

1933 г.

56. Письма в Прусскую и Баварскую Академии наук	177
57. О методе теоретической физики	181
58. Наука и цивилизация	187

1934 г.

59. Памяти Пауля Эренфеста	190
60. Памяти Марии Кюри	193
61. Предисловие к книге Л. Инфельда «Мир в свете современной науки»	194
62. Памяти де Ситтера	195

1935 г.

63. Рецензия на книгу Р. Толмена «Относительность, термодинамика и космология»	196
64. Памяти Эмми Нетер	198

1936 г.

65. Физика и реальность	200
66. Комментарий по поводу обобщения теории относительности профессором Пейджем и критики доктора Зильберштейна	228

1940 г.

67. Рассуждения об основах теоретической физики	229
68. Свобода и наука	239

1942 г.

- | | |
|--|-----|
| 69. Деятельность и личность Вальтера Нернста | 242 |
| 70. Всеобщий язык науки | 245 |

1944 г.

- | | |
|--|-----|
| 71. Замечания о теории познания Бертрана Рассела | 248 |
|--|-----|

1946 г.

- | | |
|--|-----|
| 72. Предисловие к книге Рудольфа Кайзера «Спиноза» | 253 |
|--|-----|

1947 г.

- | | |
|-------------------|-----|
| 73. Поль Ланжевен | 255 |
|-------------------|-----|

1948 г.

- | | |
|--|-----|
| 74. Памяти Макса Планка | 257 |
| 75. Предисловие к книге Л. Барнетта «Вселенная и д-р Эйнштейн» | 258 |

1949 г.

- | | |
|--------------------------------|-----|
| 76. Автобиографические заметки | 259 |
| 77. Замечания к статьям | 294 |

1950 г.

- | | |
|--|-----|
| 78. Физика, философия и научный прогресс | 316 |
| 79. Предисловие к книге Филиппа Франка «Относительность» | 322 |

1951 г.

- | | |
|--|-----|
| 80. Предисловие к книге Каролы Баумгардт «Иоганн Кеплер. Жизнь и письма» | 324 |
| 81. Письмо Г. Сэмьюэлу | 327 |

1952 г.

- | | |
|--|-----|
| 82. Предисловие к книге И. Хэннака «Эммануил Ласкер» | 331 |
|--|-----|

1953 г.

83. Г. А. Лоренц как творец и человек 334
84. Предисловие к книге Галилея «Диалог о двух главных системах мира» 337

1954 г.

85. К 410-й годовщине со дня смерти Коперника 343
86. Предисловие к книге Макса Джеммера «Понятие пространства» 344

1955 г.

87. Предисловие к книге Луи де Бройля «Физика и микрофизика» 349
88. Автобиографические наброски 350
- Эволюция физики 357
Приложение. Письма к Морису Соловину 545
Основные даты жизни и деятельности А. Эйнштейна 576
Указатель соавторов статей, опубликованных в настоящем Собрании научных трудов 577
Указатель статей, опубликованных в настоящем Собрании научных трудов 578

АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН
Собрание научных трудов
Том IV

*Утверждено к печати редколлегией
серии «Классики науки»*

Редактор *С. И. Ларин*

Редактор издательства *Е. М. Кляус*

Художник *А. Я. Михайлов*

Технический редактор *Н. Д. Новичкова*

Сдано в набор 16/V 1967 г. Подписано к печати 27/IX 1967 г.

Формат 70×90¹/₁₆. Бумага № 1. Усл. печ. л. 46,21.

Уч.-изд. л. 38,3. Тираж 31700. Тип. зак. 2692.

Цена 3 руб.

Издательство «Наука».
Москва, К-62, Подсосенский пер., д. 21

2-я типография издательства «Наука».
Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

ОПЕЧАТКИ И ИСПРАВЛЕНИЯ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
Том I			
26	5 св.	$v = -\infty$	$v = -V$
133	7 св. и 11 св.	F_x	$\mathfrak{F}_x$
510	6 св. }	(2в)	(2б)
511	8 св. }		
682	3 св.	5 мая	19 мая
Том II			
19	12 св.	$-\frac{2}{3} a^2.$	$-\frac{2}{3} a. ^2$
184	4 св.	$\int^{ik}$	$\int^{ik}$
370	7 св.	$= 0(\alpha)$	$= 0 \quad (\alpha)$
590	11 св.	δ^i_k	δ^k_i
800	2 св.	Приложение II	Приложение II (статья 141) в настоящем издании
840	1 св.	$\Gamma^s_{ik,s} - \Gamma^s_{is,k}$	слагаемых $\Gamma^s_{ik,s} - \Gamma^s_{is,k}$
Том III			
7	1 св.	Capillar...	Каpillar...
39	8 св.	$e^{-2h} E \omega (E)$	$e^{-2hE} \omega (E)$
52	10 св.	область координат	область
412	11 св.	(l — 1)-кратным	(l — 1)-мерным
552	13 св.	E_{rst}	E_{rst}
600	15 св.	E_{ist}	E_{ist}
Том IV			
115	1 св.	эффект такой.	такой эффект.
136	7 св.	опосредствованно	опосредованно
447	20 св.	линии, навивающиеся	линии навиваются
577	Пропущено: Кауфман Б. (II, 143, 144, 145)		

АЛЬБЕРТ
ЭЙНШТЕЙН

СОБРАНИЕ
НАУЧНЫХ
ТРУДОВ
IV



3 516